

Diseño del Esquema de Distribución en Planta de una Industria Productora de Leche en Polvo
que Ayude a Suplir los Requerimientos de Demanda Identificados en Colombia

Aníbal José Perna González
Oscar Eduardo Martínez Suarez

Corporación Universitaria del Caribe - CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura
Programa de Industrial
Sincelejo – Sucre
2017

Diseño del Esquema de Distribución en Planta de una Industria Productora de Leche en Polvo
que Ayude a Suplir los Requerimientos de Demanda Identificados en Colombia

Aníbal José Perna González
Oscar Eduardo Martínez Suarez

Trabajo de Grado Presentado como Requisito para Optar al Título de Ingeniero Industrial

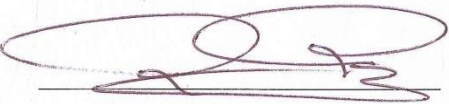
Director:
Pablo Cesar Pérez Buelvas, Msc, Ing.

Codirectora:
Angélica María Torregroza Espinosa, Msc, Ing.

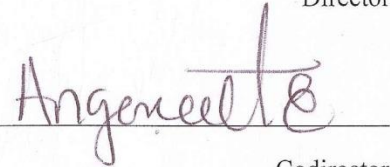
Corporación Universitaria del Caribe - CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura
Programa de Industrial
Sincelejo – Sucre
2017

Nota de Aceptación

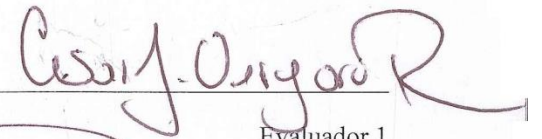
4.6



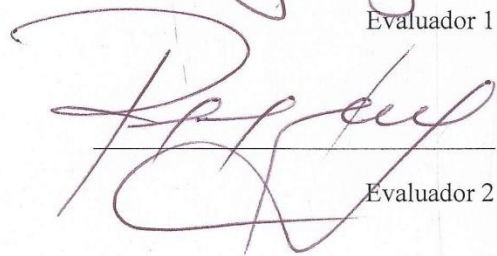
Director



Codirector



Evaluador 1



Evaluador 2

Sincelejo, Sucre, 31 de Octubre de 2017

Dedicatoria

Es mi mayor orgullo poder hoy dedicar todo el esfuerzo puesto en mi carrera universitaria y en especial el impreso en este proyecto de grado, a mi Dios todo poderoso, por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome la fuerza necesaria para vencer mis miedos y tribulaciones, por ser quien me ha enseñado a tener fe en que todo es posible, demostrándome que siempre puedo triunfar, aun en tiempos hostiles cuando solo cuento con el 0,05 de probabilidad y todo apunta en mi contra. A ti mi Señor, mi Dios, todo te lo debo. A mi mamá Yolanda, por su amor incondicional, por sus innumerables sacrificios, por sus tiernas palabras de aliento, por sus silencios elocuentes, por sus horas de consejos, de regaños, de reprimendas, de tristezas y de alegrías, por secar mis lágrimas de infancia y saber comprender cuando necesito el abrazo de una amiga. A mi papá José Manuel, porque nunca se ha cansado de guiarme, porque cuando estaba en el suelo solo y vulnerable me levantó y me prestó sus fuerzas para seguir adelante; por enseñarme a luchar, y a conquistar las metas que me proponga agotando los recursos que sean necesarios, por corregirme de la mejor manera, ni muy severa ni muy blandamente, pero con la suficiente cuota de serenidad para hacer de mi un hombre correcto. A mis hermanos por estar a mi lado, por compartir secretos, historias, pesares y alegrías, por enseñarme a estar siempre alerta ante cualquier situación adversa, y por regalarme hermosos sobrinos que no me han permitido olvidar que se siente ser niño.

Por ultimo quiero dedicar toda mi entereza y formación profesional, a todas aquellas personas que en algún momento de mi vida, con o sin intención me han hecho daño, pues de ellos he aprendido que tengo la suficiente fuerza, valor y terquedad para siempre ponerme de pie, **a todos ellos estas líneas.**

Aníbal José Perna González
Ingeniero Electrónico
Minor en Telecomunicaciones
Universidad Tecnológica de Bolívar

Agradecimientos

Me gustaría dedicar este espacio para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera profesional, por ser mi escudo y fortaleza en los momentos de debilidad, y por no permitirme desfallecer en ninguna de las pruebas a las que mi cuerpo y mente han sido sometidos durante todo este proceso de formación académica.

A mis padres, por colocar mis sueños por encima de los suyos, por depositar su entera confianza en mis capacidades, por estar conmigo en las adversidades y por enseñarme que no debo darme por vencido jamás, pues aun cuando la vida golpee fuerte siempre podre sobreponerme y alcanzar mis ideales.

A mi amigo y copiloto de vuelo, Oscar Martínez por haber sido un excelente compañero de trabajo, por haber mostrado idoneidad en sus percepciones, por haber sido receptivo ante mis apreciaciones, por haberme motivado en momentos de desesperación y sobre todo por ser parte de mi familia. Agradezco también, al ingeniero Pablo Pérez por motivarnos a asumir el desafío de realizar este trabajo, a María José Perna por colaborarnos desde el enfoque arquitectónico en la digitalización de planos en AutoCAD, al ingeniero Andrés Vilorio por prestarse siempre atento a nuestras inquietudes y por mostrar profesionalismo en sus observaciones y recomendaciones. Finalmente quiero agradecer muy especialmente, a todas aquellas personas que se mostraron receptivas al desarrollo de este proyecto permitiendo que este trabajo tuviese el suficiente carácter profesional que precisa la identidad y el sentido de lo que significa ser un verdadero ingeniero.

A todos, ¡**Muchas Gracias!**

Aníbal José Perna González
Ingeniero Electrónico
Minor en Telecomunicaciones
Universidad Tecnológica de Bolívar

Dedicatoria

Hasta el momento este ha sido el logro académico más importante en mi formación profesional, por eso esta dedicatoria es para mis padres, que se han esforzado por hacerme una persona con formación moral, a mis hermanos, por hacerme sentir importante y apoyarme en todas mis decisiones. También se lo dedico a María José Perna por aportarme estabilidad y serenidad, en los momentos difíciles; y a mi querida abuela, le dedico este y todos mis logros de manera muy especial.

Oscar Eduardo Martínez Suarez.

Agradecimientos

El presente párrafo se escribe para agradecer, las diversas formas de apoyo de las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo de grado, en especial a mi padre y a mi madre, por su esfuerzo y por la confianza que siempre me han ofrecido, a Dios por haberme brindado la fortaleza y el valor para culminar esta etapa de mi vida. Además, reconozco de buena forma a María José Perna, no solo por demostrarme su apoyo durante todo este proceso, sino también por su aporte y colaboración en la construcción del modelo propuesto, por medio de programas de diseño arquitectónico.

No culmino estas palabras sin antes mencionar a mi compañero de trabajo y a quien considero un amigo de vida, Aníbal Perna González, que gracias a su persistencia, capacidad, y alegría, se convirtió en un pilar fundamental para lograr nuestro tan anhelado objetivo; solo queda decir que nos esperan grandes retos y satisfacciones en la vida. Asimismo, agradezco a su grandiosa familia por las atenciones y el apoyo brindado durante todo este tiempo.

Por último, agradecer al Ingeniero Industrial Pablo Pérez, por motivarnos a seguir con este proyecto de tesis, y de igual forma, reconocer al Ingeniero Andrés Vilorio, por demostrarnos durante todo este proceso de formación profesional, su disposición y capacidad para brindarnos su valiosa asesoría.

Oscar Eduardo Martínez Suarez.

Tabla de Contenido

Resumen.....	17
Abstract.....	18
2. Introducción.....	19
3. Marco Referencial.....	21
3.1 Antecedentes.....	21
3.2 Origen e Historia de la Leche en Polvo.....	23
3.3 Definición Formal de la Leche en Polvo.....	25
3.4 Ficha Técnica.....	26
3.4.1 Presentación Comercial.....	26
3.4.2 Determinación del Empaque y Embalaje de la Leche en Polvo.....	27
3.4.3 Imagen de Marketing del Producto Terminado.....	29
3.4.4 Descripción Física del Producto.....	30
3.4.5 Características Organolépticas.....	30
3.4.6 Tabla de Información Nutricional.....	30
3.4.7 Características Fisicoquímicas de la Leche en Polvo Entera.....	33
3.4.8 Características Microbiológicas de la Leche Entera en Polvo.....	33
4. Diseño Metodológico.....	35
5. Resultados Obtenidos.....	39
5.1 Caracterización de la Brecha de Demanda.....	39
5.1.1 Proyección de la Capacidad Instalada de la Industria de Leche En Polvo Entera para un Horizonte de 15 Años.....	44
5.2 Localización del Proyecto de la Planta Productora de Leche en Polvo.....	49
5.2.1 Método de Brown y Gibson.....	50
5.2.1.1 Protocolo para Estimar la Localización más Apropiaada del Proyecto Empleando el Método de Brown y Gibson.....	50
5.2.1.2 Factores Considerados en la Localización del Proyecto.....	51
5.2.1.3 Costos Considerados en el Análisis de Localización.....	51
5.2.1.4 Formulación de la Tabla Inicial de los Costos Anuales Normalizados.....	55
5.2.1.5 Estimación de los Factores Objetivos de Calificación.....	56
5.2.1.6 Estimación de los Factores Subjetivos.....	56
5.2.1.7 Determinación del Índice de Importancia Relativa [<i>WJ</i>].....	57
5.2.1.8 Determinación del Ordenamiento Jerárquico <i>Rij</i>	57
5.2.1.9 Presentación de los Datos de Ponderación y Cálculo de los Factores Subjetivos.....	58
5.2.1.10 Estimación de las Medidas de Preferencia de Localización o MPL para cada Alternativa de Localización Viable.....	59
5.2.1.11 Estimación de las Medidas de Preferencia de Localización o MPL para cada Posible Alternativa de Emplazamiento.....	60
5.2.1.12 Resultados Obtenidos del Análisis de Localización.....	61
5.2.1.13 Validación de los Resultados Obtenidos.....	61
5.2.1.14 Conclusión del Análisis de Localización.....	62
5.3 Caracterización del Proceso Productivo.....	65
5.3.1 Descripción de las Operaciones que Intervienen en el Proceso de Producción de la Leche en Polvo Entera.....	67
5.3.1.1 Proceso de Recepción e Inspección de la Leche Cruda.....	67
5.3.1.2 Pasteurización de la Leche Cruda.....	67
5.3.1.3 Evaporación o Concentración de la Leche Pasteurizada.....	67

5.3.1.4 Inspección de las Características de Humedad y Contenido de Nutrientes..	68
5.3.1.5 Secado de la Leche por Atomización [Spray Drying]...	68
5.3.1.6 Secado y Selección de Partículas a través de la Máquina Vibrofluidificadora	68
5.3.1.7 Verificación de la Solubilidad y Análisis de Tendencia Microbiológica de la Leche en Polvo	68
5.3.1.8 Empaque y Embalaje	69
5.3.1.9 Almacenamiento Final	69
5.3.2 Simbología Utilizada en las Operaciones Realizadas para la Elaboración de la Leche Entera en Polvo	70
5.3.3 Diagrama de Flujo de Procesos de la Elaboración de la Leche en Polvo Entera	71
5.3.4 Diagrama de Bloques del Proceso de Producción de la Leche Entera en Polvo	72
5.4 Determinación de los Requerimientos de las Áreas de Almacenamiento.....	73
5.4.1 Área de la Bodega de Almacenamiento.....	84
5.4.2 Altura Mínima Requerida del Almacén en Función de la Cota de los Racks.....	85
5.4.3 Características del Montacargas que Circulara por los Pasillos del Almacén.. ..	86
5.4.4 Determinación de las Dimensiones del silo de Almacenamiento de Leche Fluida.....	87
5.4.5 Determinación de las Dimensiones del silo De Almacenamiento Temporal de la Leche en Polvo.. ..	93
5.4.6 Diseño del Depósito para Almacenar el Agua Potable Necesaria para Desarrollar la Tarea Productiva de la Planta.....	99
5.4.6.1 Consumo de Agua del Sistema de Pasteurización.. ..	100
5.4.6.2 Consumo de Agua del Sistema de Evaporadores.....	101
5.4.6.3 Consumo de Agua del Equipo de Atomización o de Secado Spray.....	102
5.4.7 Determinación de las Características de los Camiones Cisternas Empleados.. ..	106
5.4.8 Determinación de las Características de los Camiones Carga Empleados.....	108
5.5 Características Técnicas de los Equipos Empleados.....	109
5.5.1 Descripción del Sistema de Pasteurización.....	110
5.5.1.1 Configuración Típica en Planta del Equipo de Pasteurización	111
5.5.2 Descripción del Sistema de Evaporadores	112
5.5.2.1 Localización Típica de los Evaporadores Dentro del Esquema de Distribución en Planta	113
5.5.3 Descripción del Equipo de Atomización o de Secado Spray	114
5.5.3.1 Localización Típica del Spray Dryer dentro del Esquema de Distribución en Planta	116
5.5.4 Descripción de los Tanques de Acumulación Intermedia Empleados para la Regulación del Caudal	117
5.5.5 Descripción del Tanque de Acumulación Intermedia entre el Pasteurizador y los Evaporadores	118
5.5.6 Descripción del Tanque de Acumulación Intermedia entre el Evaporador y el Spray Dryer	119
5.5.7 Descripción del Lecho de Fluido Externo o Vibrofluidificador	120
5.5.7.1 Localización Típica del Vibrofluidificador dentro del Esquema de Distribución en Planta.....	121
5.5.8 Descripción del Sistema de Empacado	121
5.5.9 Descripción del Sistema de Paletización.....	123
5.5.10 Descripción de las Bandas Transportadoras [Conveyors] Empleadas en los Procesos de Embalaje	124
5.5.11 Equipo de Bombeo de Alta Presión	125
5.5.12 Descripción de los Equipos Auxiliares	126
5.5.12.1 Descripción del Sistema de Ventilación y Presurización de la Planta	126
5.5.12.2 Localización del Sistema de Ventilación y Presurización de la Planta.....	127
5.6 Balanceamiento de la Línea de Producción	129
5.6.1 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Pasteurización	131
5.6.2 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Evaporadores	134
5.6.3 Análisis de Balanceamiento del Equipo de Atomización o de Secado Spray.....	136
5.6.4 Análisis de Balanceamiento del Lecho de Fluido Externo o Vibrofluidificador	138
5.6.5 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Empacado.....	140

5.6.6 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Paletización	142
5.6.7 Resumen del Proceso de Balanceamiento.....	144
5.6.8 Tiempo Empleado para Descargar la Leche en el Silo de Almacenamiento de Leche Cruda	146
5.6.9 Tiempo Necesario para Acomodar los 8 Pallets en la Bodega	146
5.6.10 Tiempo Promedio Requerido en el Desarrollo de un Día de Producción	147
5.7 Diseño del Esquema de Distribución en Planta	148
5.7.1 Análisis de la Relación entre Actividades para Determinar el Esquema de Distribución en Planta Inicial	150
5.7.1.1 Determinación del Diagrama de Relación de Actividades de Richard Muther	151
5.7.1.2 Diagrama Relacional de Recorrido y Actividades	153
5.7.1.3 Elaboración de la Hoja de Trabajo en Función del Diagrama de Afinidad	154
5.7.1.4 Construcción y Selección del Diagrama Adimensional de Bloques que Mejor se Ajuste a las Características de la Planta	156
5.7.2 Asignación de Áreas para Determinar el Esquema de Layout más Apropiado para la Fábrica de Leche en Polvo Analizada	158
5.7.3 Validación del Esquema Básico de la Planta Empleando el Algoritmo Metaheurístico ALDEP Plant Lay-Out Generating	161
5.8 Simulación Asistida del Modelo	164
5.8.1 Descripción y Justificación del Proceso de Simulación en el Entorno de FlexSim.....	165
5.8.2 Descripción Del Modelo Desarrollado En FlexSim.....	165
5.8.3 Validación del Modelo.....	167
5.8.4 Experimentación del Modelo.....	168
5.8.5 Contraste entre el Esquema Teórico y el Modelo Experimental en un Periodo de Validación de 1440 Minutos.	169
5.8.6 Contraste entre el Modelo Diseñado y Esquemas Alternativos Propuestos en Función a Diferentes Equipos de Atomización.....	172
5.8.7 Comportamiento del Esquema Productivo Diseñado Frente al Cumplimiento de la Demanda Anual.....	177
5.9 Diseños de la Distribución de Planta Maestra.....	179
5.9.1 Tipo de Edificio Seleccionado para Emplazar la Planta Productora de Leche en Polvo Entera.....	179
5.9.2 Diseño del Esquema de Distribución en Planta Maestra	180
6. Conclusiones	186
Referencias Bibliográficas	189
Anexos	192

Lista de Figuras

Figura 1 Curvas de Producción Vs Consumo de Leche en Polvo Entera en Colombia entre los Años [2000-2023] en Miles de Toneladas.....	42
Figura 2 Análisis Grafico de la Brecha de Demanda Anual de Leche En Polvo Entera en Colombia Aislada para el Periodo del [2010-2023]	44
Figura 3 Proyección de la Capacidad Instalada de la Industria a 15 Años	48
Figura 4 Plataforma del Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC	49
Figura 5 Perspectivas de la Localización de la Planta	64
Figura 6 Diagrama de Operaciones de la Leche Entera en Polvo.....	66
Figura 7 Diagrama de Bloques del Proceso del Pulverización de la Leche.....	70
Figura 8 Diagrama Esquemático del Proceso Productivo y de los Equipos Implicados en la Fabricación de la Leche en Polvo Entera	73
Figura 9 Dimensiones de la Caja Empleada en el Esquema Productivo.....	76
Figura 10 Configuración de la Estiba Empleada para el Almacenamiento de los Productos Terminados	77
Figura 11 Dimensiones de la Configuración Paletizada Empleada	81
Figura 12 Diagrama Pictórico de la Configuración del Rack Empleada en el Área de Almacenamiento.....	83
Figura 13 Dimensiones del Área de Almacenamiento.....	84
Figura 14 Especificaciones de Diseño del Silo de Leche Cruda.....	88
Figura 15 Especificaciones de Diseño del Silo de Leche en Polvo	83
Figura 16 Especificaciones de Diseño del Depósito de Agua Potable.....	104
Figura 17 Imagen Representativa del Camión Cisterna Empleada en la Planta.....	106
Figura 18 Especiaciones de los Camiones para el Transporte de Leche Cruda.....	106
Figura 19 Imagen Representativa del Camión de Carga Empleada En La Planta.....	108
Figura 20 Especiaciones de los Camiones para el Transporte del Producto Terminado	108
Figura 21 Disposición Característica del Equipo de Pasteurización.....	112
Figura 22 Disposición Característica del Equipo Evaporador	114
Figura 23 Disposición Característica del Equipo de Pulverización Empleada.....	116
Figura 24 Imagen del Tanque de Acumulación Intermedia Utilizado	117
Figura 25 Disposición Característica del Lecho de Fluido Externo	121
Figura 26 Disposición Característica del Sistema de Ventilación y Presurización.....	128
Figura 27 Análisis de los Tiempos Asociados a las Maquinas en Minutos	145
Figura 28 Análisis de los Tiempos Asociados a las Maquinas en Horas.....	146
Figura 29 Diagrama de Relaciones del Esquema de Distribución en Planta Propuesto	153
Figura 30 Plantillas Característica Empleada en el Análisis Adimensional de Bloques.....	156
Figura 31 Primera Alternativa de Distribución en Planta	157
Figura 32 Segunda Alternativa de Distribución en Planta Inicial.....	157
Figura 33 Esquema de Distribución en Planta Seleccionada	158
Figura 34 Plataforma para el Ingreso de Datos del Algoritmo Metaheurístico ALDEP.....	162
Figura 35 Primera Iteración o Layout 1A	163
Figura 36 Segunda Iteración o Layout 2A	163
Figura 37 Tercera Iteración o Layout 3A.....	164
Figura 38 Modelo del Esquema Productivo Desarrollado Para Efectos de Pruebas de Simulación	166
Figura 39 Diagrama de Gantt para el Análisis Teórico de los Tiempos de Ciclo del Proceso Productivo de la Leche En Polvo	170
Figura 40 Diagrama de Gantt para el Análisis de Simulación de los Tiempos de Ciclo del Proceso	

Productivo de la Leche en Polvo.....	171
Figura 41 Imagen Representativa del Tipo de Edificación Seleccionada para el Esquema Productivo	179
Figura 42 Vista Superior General de la Planta.....	180
Figura 43 Acercamiento de la Vista Superior de la Planta	181
Figura 44 Emplazamiento General de la Planta.....	181
Figura 45 Fachada Principal de la Industria.....	182
Figura 46 Corte Longitudinal del Exterior de la Planta	182
Figura 47 Corte Transversal de la Planta	182
Figura 48 Fachada de la Industria	183
Figura 49 Vista Lateral Derecha de la Fachada	183
Figura 50 Vista Lateral Izquierda de la Fachada	184
Figura 51 Perspectiva Superior de la Planta	184
Figura 52 Vista Aérea de la Localización de la Planta	185

Lista de Tablas

Tabla 1 Evolución Histórica del Proceso de Obtención de la Leche en Polvo	25
Tabla 2 Características Técnicas del Empaque y Embalaje del Producto Terminado	28
Tabla 3 Presentación Comercial e Isologotipo del Producto Terminado.....	29
Tabla 4 Información Nutricional de la Leche en Polvo Entera por cada 100 gr.....	30
Tabla 5 Información Fisicoquímica de la Leche en Polvo Entera	33
Tabla 6 Criterios Microbiológicos para la Aceptabilidad de la Leche en Polvo.....	34
Tabla 7 Producción de Leche en Polvo Entera en Colombia para el Periodo [1988-2023] en Miles de Toneladas.	40
Tabla 8 Consumo de Leche en Polvo Entera en Colombia para el Periodo [1988-2023] en Miles de Toneladas.	41
Tabla 9 Contraste entre la Producción y el Consumo de Leche en Polvo Entera en Colombia entre los Años [2000-2023] en Miles de Toneladas.	42
Tabla 10 Diferencia Media entre la Producción y el Consumo Anual de Leche Entera en Polvo en Colombia en Miles de Toneladas	43
Tabla 11 Estimación de la Tasa de Crecimiento Promedio Anual de la Demanda.....	45
Tabla 12 Variación Anual de la Producción Real de la Industria Láctea Nacional Según el DANE.	46
Tabla 13 Determinación de la Capacidad Inicial del Esquema de Distribución por Diseñarse.....	47
Tabla 14 Precios de la Leche Cruda en Sucre según el DANE	52
Tabla 15 Precios de la Leche Cruda en Córdoba según el DANE.....	52
Tabla 16 Precios de la Leche Cruda en Bolívar según el DANE.....	53
Tabla 17 Costos por Efectos de Transporte para cada uno de los Trayectos Considerados según el SICE-TAC.	53
Tabla 18 Costo Equivalente por el Transporte de un Litro de Leche hacia cada uno de los Trayectos Considerados según el SICE-TAC.....	55
Tabla 19 Valores Normalizados en función de Unidades de Mil para cada uno de los Costos Implicados..	55
Tabla 20 Factores Objetivos para las Localizaciones Consideradas.....	56
Tabla 21 Índices de Importancia Relativa para los Factores Subjetivos Considerados.	57
Tabla 22 Orden Jerárquico para cada Factor Subjetivo Considerado respecto a cada Opción de Localización.	58
Tabla 23 Resumen de las Ponderaciones de los Factores Subjetivos Considerados.....	58
Tabla 24 Valores Finales de los Factores Subjetivos de Considerados..	59
Tabla 25 Importancia Relativa para cada Grupo de Factores..	60
Tabla 26 Resumen de los Valores de los Factores Objetivos y Subjetivos de Localización.	60
Tabla 27 Medidas de Preferencia de Localización [MPL] Resultantes del Análisis Brown y Gibson.	61
Tabla 28 Producción de Leche Obtenida en un Día en los Departamentos Considerados en el Análisis.....	62
Tabla 29 Inventario de Ganado Vacuno por Orientación en los Departamentos Considerados	62
Tabla 30 Simbología Empleada para el Desarrollo del Diagrama de Flujo de Procesos.....	70
Tabla 31 Diagrama de Flujo de Procesos para la Producción de Leche en Polvo Entera.....	71
Tabla 32 Especificaciones Técnicas de la Estiba de Almacenamiento.	78
Tabla 33 Descripción Técnica del Peso Total de la Estiba.	80
Tabla 34 Características Técnicas del Rack Selectivo Utilizado.	83
Tabla 35 Características Técnicas del Montacargas.	86
Tabla 36 Características Técnicas del Silo de Acopio de Leche Fresca.	83
Tabla 37 Características Técnicas del Silo de Almacenamiento Temporal de Leche en Polvo..	98
Tabla 38 Consumo de Agua por Equipo.	103
Tabla 39 Dimensiones de la Alberca de Agua Diseñada.	105

Tabla 40 Dimensiones de los Ejes de los Camiones Cisterna.....	107
Tabla 41 Resumen de las Características Dimensionales de los Camiones Cisterna.....	107
Tabla 42 Dimensiones de los Ejes de los Camiones de Carga.....	109
Tabla 43 Resumen de las Características Dimensionales de los Camiones de Carga.....	109
Tabla 44 Lista de los Equipos Empleados en el Esquema Productivo.....	110
Tabla 45 Características Técnicas del Pasteurizador Tetra Therm™Lacta 1.	111
Tabla 46 Resumen de las Dimensiones del Pasteurizador.	112
Tabla 47 Características Técnicas de los Concentradores TetraMagna™Evaporator – TVR..	113
Tabla 48 Características Técnicas del Atomizador Tetra Pak™Spray Dryer Tall Wide Body..	115
Tabla 49 Características Técnicas del Tanque Tetra Alsafe™ 50.000 Lts.	118
Tabla 50 Características Técnicas del Tanque Tetra Alsafe™ 30.000 Lts.	119
Tabla 51 Características Técnicas del Vibrofluidificador Niro Vibro Fluidizer.....	120
Tabla 52 Características Técnicas de la Empacadora PFM Zenith.....	122
Tabla 53 Características Técnicas de la Paletizadora Premier Tech SPLX MKI.	123
Tabla 54 Características Técnicas de la Banda Transportadora Premier Tech Belt Conveyor.....	124
Tabla 55 Características Técnicas de la Bomba Helicoidal de Husillo HYGHSPIN.	125
Tabla 56 Características Técnicas de la Sistema de Ventilación y Presurización CASIBA.....	128
Tabla 57 Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Pasteurizador..	132
Tabla 58 Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento de los Evaporadores..	134
Tabla 59 Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Atomizador.....	136
Tabla 60 Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Lecho de Fluidizado.....	138
Tabla 61 Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Sistema de Empacado..	140
Tabla 62 Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Sistema de Paletización.....	142
Tabla 63 Resumen del Proceso de Balanceamiento en Minutos.....	144
Tabla 64 Resumen del proceso de Balanceamiento en Horas.....	145
Tabla 65 Tiempo Promedio Requerido para Efectuar las Tareas Productivas en [Minutos]..	147
Tabla 66 Tiempo Promedio Requerido para Efectuar las Tareas Productivas en Horas..	147
Tabla 67 Descripción de las Actividades Desarrolladas en cada Departamento..	148
Tabla 68 Calificación de Cercanía para SLP.	151
Tabla 69 Razones de Cercanía Consideradas..	152
Tabla 70 Diagrama de Análisis de Afinidad o de Relación de Actividades de Richard Muther.....	152
Tabla 71 Tabla de Cuantificación de Proximidad entre Actividades.....	153
Tabla 72 Análisis del Diagrama de Relaciones de Muther por Columnas.....	154
Tabla 73 Análisis del Diagrama de Relaciones de Muther por Filas.....	155
Tabla 74 Hoja de Trabajo de Relación de Actividades.....	155
Tabla 75 Determinación de los Requerimientos de Espacios en el Área de Producción.....	159
Tabla 76 Estimación del Área Ocupada por los Dispositivos de Acopio..	160
Tabla 77 Cálculo del Área Ocupada por los Camiones de la Zona de Recepción.....	160
Tabla 78 Estimación del área Ocupada por los Camiones de la Zona de Envíos..	160
Tabla 79 Resumen de la Composición de las Áreas de los Departamentos Analizados.....	161
Tabla 80 Entidades Validadas por el Programa de Simulación FlexSim.....	169
Tabla 81 Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones desarrolladas en la Planta de Acuerdo al Balanceamiento Teórico de la Línea de Producción.....	170
Tabla 82 Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones Desarrolladas en la Planta de acuerdo al Modelo Simulado en la Plataforma de FlexSim v.16.....	171
Tabla 83 Análisis de Validación de la Veracidad del Modelo en Función a Indicadores.....	172
Tabla 84 Características Técnicas del Spray Dryer del Primer Escenario Alternativo de Simulación.....	173
Tabla 85 Características Técnicas del Spray Dryer del Segundo Escenario Alternativo de Simulación.....	174

Tabla 86 Tiempos de Ciclo Asociados a la Primera Situación Alternativa de Simulación... ..	175
Tabla 87 Tiempo Total de Corrida del Primer Escenario Alternativo de Simulación... ..	175
Tabla 88 Tiempos de Ciclo Asociados a la Segunda Situación Alternativa de Simulación... ..	176
Tabla 89 Tiempo total de Corrida del Segundo Escenario Alternativo de Simulación	176
Tabla 90 Reporte Estadístico Asociado al Proceso de Simulación para un Periodo de Ensayo de 430.560 Minutos	178
Tabla 91 Análisis de Validación de la Veracidad del Modelo en Función a Indicadores para un Periodo de Experimentación de un Año.....	178

Lista de Anexos

Anexo 1 Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo [1983-1989] en Miles de Toneladas	193
Anexo 2 Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo [1990-1999] en Miles de Toneladas	193
Anexo 3 Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo [2000-2009] en Miles de Toneladas	194
Anexo 4 Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo [2010-2023] en Miles de Toneladas	194
Anexo 5 Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo [1983-1989] en Miles de Toneladas	195
Anexo 6 Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo [1990-1999] en Miles de Toneladas	195
Anexo 7 Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo [2000-2009] en Miles de Toneladas	196
Anexo 8 Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo [2010-2023] en Miles de Toneladas	196
Anexo 9 Producción de Leche Obtenida el día Anterior a la Entrevista del DANE, por Destino, según Departamentos	197
Anexo 10 Inventario de Ganado Vacuno por Departamento según la Intención del Productor	198
Anexo 11 Reporte de Análisis Estadístico de la Simulación del Modelo Diseñado en Función al Balanceamiento de la Línea en FlexSim	199
Anexo 12 Reporte de Análisis Estadístico del Primer Escenario Alternativo de Simulación con Spray-Dryer de 4000 Litros	201
Anexo 13 Reporte de Análisis Estadístico del Segundo Escenario Alternativo de Simulación con Spray-Dryer de 24000 Litros	203
Anexo 14 tiempos de ciclo asociados a las operaciones desarrolladas en la planta en función al balanceamiento de la línea de producción	205
Anexo 15 Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones Desarrolladas en la Planta en Función al Modelo Simulado en la Plataforma de FlexSim v.16	205
Anexo 16 Reporte de Análisis Estadístico de la Simulación del Modelo Diseñado en Función al Balanceamiento de la Línea en FlexSim para un Periodo de Validación de 430.560 Minutos	206
Anexo 17 Enlaces de Pre visualización de la Planimetría en Autodesk AutoCAD	208
Anexo 18 Enlaces de Pre visualización de los Renders de la Planta	208

Resumen

De acuerdo con el informe “Agricultural Outlook” o [Perspectivas Agrícolas] desarrollado anualmente por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], la relación que existe entre el consumo y los niveles de producción anual histórico de leche en polvo entera en el mercado colombiano exponen la existencia de una brecha de demanda no cubierta por los productores nacionales desde el año 2010, la cual se constituye en una oportunidad para impulsar el desarrollo industrial y tecnológico en el sector lácteo hacia una posición más privilegiada dentro la economía del país. En este sentido, con este trabajo se pretende diseñar un esquema de distribución en planta de una industria productora de leche en polvo entera, que ayude a disminuir la brecha que existe entre los niveles de producción y el consumo anual histórico de este insumo en el mercado nacional, de acuerdo con las proyecciones individuales desarrolladas por los expertos de la OCDE y la FAO. Para cumplir con este objetivo se plantea hacer una investigación de las operaciones del proceso productivo de fabricación de la leche en polvo que permitan determinar los requerimientos de máquina del esquema a modelar, posteriormente se procederá a implementar la metodología de Planificación Sistemática de Layout formulada por Richard Muther con el propósito de encontrar la mejor configuración de las áreas del esquema productivo, para finalmente simular el esquema teóricamente diseñado en la plataforma asistida de FlexSim con el fin de validar el comportamiento y desempeño de sistema bajo las condiciones propuestas por el equipo de diseño.

Palabras clave: Leche en polvo, Distribución en planta, Demanda insatisfecha, Producción, Consumo, Layout, Atomización, Simulación.

Abstract

According to the "Agricultural Outlook Report" annually developed by the Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD] and the Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], the relationship that exists between the consumption and the annual production levels of whole milk powder through the history in the Colombian market, show the existence of a gap of demand not covered by the national producers since 2010, which constitutes an opportunity to improve the industrial and technology development in the dairy sector towards a more privileged position within the country's economy. In this sense, the aim of this work is to design a distribution layout scheme for a whole milk powder industry, in order to reduce the gap between production levels and the historical annual consumption of this product in the market according to the individual projections developed by OECD and FAO experts. To comply with this objective, it is proposed to carry out an investigation of the operations of the production process of the powdered milk that allow to determine the machine requirements of the scheme to be modeled, subsequently, the team will proceed to implement the Systematic Layout Planning methodology formulated by Richard Muther with the purpose of finding the best configuration of the areas of the production system, to finally simulate the theoretically designed scheme in the assisted platform of FlexSim in order to validate the behavior and the performance of the system under the conditions proposed by the design team.

Keywords: Milk Powder, Plant Distribution, Unsatisfied Demand, Production, Consumption, Layout, Atomization, Simulation.

2. Introducción

En concordancia con las proyecciones desarrolladas en el informe de perspectivas agrícolas elaborado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] para el mercado Colombiano, existe desde el año 2010 una demanda de leche en polvo entera cuyo valor medio fluctúa alrededor de las 5.017 toneladas anuales, la cual de acuerdo con las apreciaciones de estos analistas se extiende por lo menos hasta el año 2023, exponiendo una oportunidad para generar valor en la industria nacional de pulverización. En consecuencia de esto, el presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar el esquema de distribución en planta de una nueva industria productora de leche entera en polvo, orientada a ayudar a suplir una considerable proporción de los requerimientos de demanda aun no cubiertos por las empresas existentes, en función de la relación que existe entre los niveles de producción y el consumo anual histórico de este insumo en el país. En este sentido, la formulación y el desarrollo del presente proyecto de investigación se justifica en primera instancia, en la oportunidad latente que existe en el país para plantear y modelar ideas innovadoras que puedan llegar a constituirse en estrategias de ingeniería concurrente que permitan aumentar la capacidad instalada que posee Colombia para desarrollar procesos de pulverización que ayuden hacer un mejor aprovechamiento de la leche cruda producida en el primer eslabón de la cadena láctea, en especial en las épocas de alta producción, ofreciéndose así una mejor alternativa para incrementar el ciclo de vida útil de la leche hasta por un año. Además de esto, el presente trabajo se justifica también en la necesidad que existe por encontrar mecanismos que contribuyan a que en el país se alcance la meta mínima de consumo per cápita de leche recomendado por la Organización Mundial de la Salud, fijado en el intervalo de 150 a 170 litros equivalentes por habitante al año, debido a que aún existe la preocupación asociada al frecuente consumo de leche cruda de baja calidad y sin ningún tipo de estándar de inocuidad en los estratos 1, 2 y 3, pues según lo indica el Conpes 3675, el consumo de leche en estos estratos es inferior a 35 litros por persona, lo que genera bajos niveles de nutrición e impulsa la informalidad en la comercialización de la leche cruda en una proporción de hasta el 43%, situación que atenta contra uno de los principios fundamentales de la FAO, en la que se plantea el hecho de que la producción y la conservación de la leche deben ser consideradas

mundialmente como prioridad para la seguridad alimentaria, en especial para la población infantil.

3. Marco Referencial

3.1 Antecedentes

Las exigentes condiciones del mercado selectivo en el que se desarrollan las actividades industriales modernas condicionan el éxito y la subsistencia de la empresa en el entorno en el que se desenvuelven, exigiéndole a estos esquemas productivos una considerable cuota de eficiencia en el desempeño de todos los aspectos del proceso productivo. De este modo la reducción de los costos de producción y la mejora de la flexibilidad en el desarrollo de la tarea productiva permitirán adaptarse a los cambios del entorno y hacer frente a sus inevitables efectos, con el propósito de alcanzar el tan anhelado éxito del sistema. En este sentido una de las facetas de un nuevo proyecto a la que se le debe prestar mayor atención y esmero es el proceso de planificación de la distribución en planta, debido a que su apropiada programación permitirá que los procesos se ejecuten de la manera más racional. De esta forma, la industria productora de leche en polvo no está excepta de estas premisas, en ella la planificación de su esquema de distribución implica un análisis riguroso que parte de la estimación de la capacidad, la programación del proceso y el diseño más adecuado para cumplir con los requerimientos al menor costo posible y bajo los mejores estándares de seguridad e inocuidad. Sin embargo alcanzar tal nivel de entendimiento e idoneidad al servicio del diseño en ingeniería no ha sido una tarea fácil; históricamente uno de los primeros en destacar la importancia de la distribución en planta fue Moore (1962), designándola como la coordinación física de los elementos industriales, incluidos el manejo de los espacios necesarios para el movimiento del material, el almacenamiento, los trabajadores y todas las actividades complementarias. Posteriormente Muther (1981), creador del modelo de Planificación Sistemática de Layout o SPL, sostuvo que el problema fundamental de la distribución en planta consiste en determinar el orden lógico de las áreas de trabajo y del equipo implicado que resulte económicamente factible para llevar a cabo el proceso productivo, garantizando la seguridad y la satisfacción de los operarios en el entorno industrial. Luego Tate y Smith (1995), plantearon una idea análoga a la formulada por Richard Muther en la que establecen que el problema principal de la distribución en planta consiste encontrar la mejor configuración de una región geoméricamente, segregándola en

departamentos generalmente rectangulares y de área conocida, con el propósito minimizar los costos asociados a la interacción de los mismos. De forma prácticamente paralela Meller y Gau (1996), plantearon que el objetivo primordial del análisis de distribución en planta, consiste en hallar la configuración más apropiada de las áreas, que minimice los costos por efectos de transporte de materiales dentro del esquema, pero considerando siempre dos grupos de restricciones asociadas a los requerimientos de superficie de cada departamento en particular y las restricciones especiales de localización que puedan tener cada estación de trabajo. De forma semejante Gómez-Senent (1997), plantea que el problema al que se ven sometidos todos los proyectos industriales consiste en ubicar adecuadamente los componentes físicos que intervienen en un proceso productivo, de modo que su comportamiento sea óptimo desde el mayor número de puntos de vistas. Paralelamente Mavridou y Pardalos (1997), hacen una compilación de las premisas formuladas por sus predecesores pero solo en el contexto de las industrias manufactureras, con el fin de minimizar el coste del transporte de los materiales requeridos entre los distintos departamentos de la empresa. Finalmente Shayan y Chittilappilly (2004), formularon que el problema en el análisis de layout consiste en disponer de forma óptima un conjunto de componentes, bajo un grupo de restricciones de carácter cualitativo o cuantitativo.

De este modo, es absolutamente justificable la necesidad de un estudio detallado de las requerimientos del diseño en planta y de las características del proceso productivo de la fabricación de la leche en polvo, en función de las premisas expuestas con antelación, pues la correcta configuración de los componentes del esquema productivo se constituyen en una importante ventaja competitiva al tener incidencia directa sobre el costos de producción, los tiempos de fabricación, el consumo energético, la capacidad de adaptación ante los cambios en la demanda y la seguridad alimentaria, en especial para un producto como la leche, en el que la higiene de la planta se convierte en un factor importante en el diseño, debido a que se tiene que cumplir con los diversos requisitos obligatorios y los aspectos legales con el fin de garantizar la inocuidad de producto ofrecido.

3.2 Origen e Historia de la Leche en Polvo

La leche en polvo es un importante producto alimenticio que se obtiene mediante la deshidratación de la leche natural entera, total o parcialmente desnatada, hasta secarla casi a su totalidad pero conservando sus valiosas propiedades nutricionales. Esta se caracteriza fundamentalmente por el hecho de que a diferencia de la leche fluida, esta puede resistir una amplia variedad de temperaturas y condiciones, pues no precisa de ser conservada en frío y por lo tanto su vida útil es más prolongada haciéndola más fácil de trasladar, almacenar e incluso de consumir. Sin embargo todo esto que hoy en día nos parece tan sencillo y tan práctico, a la ciencia le tomó mucho tiempo y esfuerzo para desarrollarlo.

El primer intento por deshidratar la leche con fines de conservación lo hicieron los antiguos guerreros mongoles como los Khalha, los Buriad y otras tribus nómadas occidentales las cuales calentaban la leche del ganado hasta hervir para separar la crema y luego la utilizaban para preparar Öröm, una forma primitiva de lo que hoy conocemos como nata montada, además de esto los pobladores de estas tribus también tuvieron la iniciativa de secar la leche a la luz del sol para preparar Aruul, unos particulares cuajos secos que podían conservarse por mayor tiempo en condiciones de ambiente y que empleaban para alimentarse durante sus travesías militares y expansionistas.









Sin embargo, no es sino hasta principios del siglo XIX, específicamente en el año de 1802 cuando el doctor ruso Osip Krichevsky realiza la primera deshidratación de la leche empleando calor, con lo cual logró evaporar el agua contenida en la misma y obtener un polvo de color blanco amarillento de apariencia semejante a la leche deshidratada actual; pero cuyos resultados reales estaban aún muy distantes de lo que hoy conocemos como leche en polvo, pues durante el proceso de hervor se sacrificaba una considerable proporción de las propiedades nutricionales intrínsecas de la leche fresca. Posteriormente y de manera prácticamente simultánea se probaron diferentes técnicas también basadas en la aplicación de calor convectivo controlado, en Francia por ejemplo el químico experimental y maestro confitero Nicolás François Appert utilizó en el año de 1822 el proceso de hervor al baño maría obteniendo resultados análogos que también evaporaban los nutrientes contenidos en la leche fluida; por otro lado para el año de

1835 en Inglaterra, William Newton consiguió preservar la leche calentándola a una menor temperatura que la requerida para la esterilización y agregándole azúcar, con el fin de que esta actuara como agente conservante, obteniendo una mezcla parecida a la leche condensada actual. Luego ya para el año de 1864 el químico y bacteriólogo francés Louis Pasteur ideó un procedimiento térmico con el cual logró reducir la presencia de agentes patógenos en los alimentos líquidos, con lo cual mejoró indudablemente la calidad de vida de la humanidad al hacer posible que productos alimenticios básicos como la leche fuesen más resistentes a la descomposición; sin embargo la búsqueda incesante por un método que propiciara un mayor grado de conservación de la leche no concluiría allí, pues para el año de 1867 en Vevey, Suiza, un entrenado químico farmacéuta de origen alemán llamado Henri Nestlé comienza a experimentar con una harina lacteada preparada a partir de varias combinaciones de leche de vaca, cereales tostados como el trigo y azúcar como agente conservante, tratando de desarrollar un alimento infantil alternativo para las madres que no podían amamantar. Su meta era contribuir a combatir el problema de la mortalidad infantil debido a la malnutrición. Nestlé llama a su producto Farine Lactée Nestlé y su primer consumidor fue un infante prematuro que no podía tolerar la leche materna ni cualquier sustituto convencional; este niño había sido declarado como caso perdido por los doctores locales pero sin embargo la nueva fórmula de Nestlé logró salvar su vida, lo cual centró las miradas en este innovador alimento sustituto y amplió los horizontes para que se desarrollaran nuevas y más rigurosas investigaciones que permitieran perfeccionar aún más el proceso de deshidratación de la leche pero tratando al máximo de conservar la totalidad de su contenido nutricional intrínseco sin tener que recurrir a aditivos. En este sentido no es sino hasta el año de 1872 cuando el visionario Samuel R. Percy define formalmente el proceso de atomización o secado spray como una alternativa viable para lograr la deshidratación de un líquido a partir de su pulverización a alta presión como mecanismo para minimizar el destructivo cambio químico al que están expuestas estas sustancias en su estado inicial. De este modo en ese mismo año se expide en Estados Unidos la patente número 125.406 titulada 'Mejora del Secado y la Concentración de las Sustancias Líquidas por Atomización' con la cual se empezó a materializar formalmente la idea propuesta por Percy; sin embargo tomó cerca de 50 años para que el primer diseño de secador por aspersion fue comercialmente exitoso para ser

desarrollado en serie y operado en los llamados productos sensibles al calor, como lo es el caso de la leche en estado líquido. No obstante la leche en polvo tal y como la conocemos hoy día solo llegaría hasta el año de 1958 a través de la publicación de la patente 2.835.586, titulada 'Dried Milk Product and Method of Making Same' o [Productos a Base de Leche Deshidratada y Métodos de Preparación de los Mismos], la cual fue expedida en Estados Unidos y en la que se destaca la investigación del inventor David D. Peebles, donde establece que la solubilidad en el agua de la leche en polvo es un problema para su reconstitución, debido a que los tratamientos conocidos hasta esa época para la elaboración de este tipo de leche ocasionan la pérdida de la disolución de la misma. Para solucionar este problema fundamentalmente se propuso adicionar lecitina de soja al polvo que se obtiene del proceso de secado por atomización, el cual es descargado en un post-secador o acondicionador que le da las características finales de humedad y temperatura para su correcta conservación, finalizando su paso por una zaranda que fundamentalmente separara las partículas de polvo y les otorga el mismo tamaño homogéneo garantizando así la instantaneidad de este innovador producto al que hoy en día tenemos fácil acceso.

Tabla 1

Evolución Histórica del Proceso de Obtención de la Leche en Polvo

Deshidratación de la leche al sol.	Secado con calor.	Hervor al baño María.	Adición de calor y azúcar.	Pasteurización de la leche.	Harina lacteada	Secado Spray	Primer atomizador spray	Instantaneidad	
1600-1699 Siglo XVII	1802	1822	1835	1864	1867	1872	1922	1958	HOY Siglo XXI
	Siglo XIX					Siglo XX			
Guerreros Mongoles	Osip Krichevsky	Nicolás François Appert	William Newton	Louis Pasteur	Henri Nestlé	Samuel R. Percy	GEA GROUP	David D. Peebles	
									

Fuente: Elaboración Propia..

3.3 Definición Formal de la Leche en Polvo

Considere el siguiente concepto en el que se describe formalmente a la leche deshidratada o leche en polvo, de acuerdo a lo contenido en el Libro Blanco de la Leche y los Productos Lácteos: La leche en polvo o leche deshidratada, es fundamentalmente la leche que ha sido sometida a un proceso de secado generalmente por aspersion, es decir, deshidratación mediante un procedimiento de atomización y evaporación. Esta puede estar estandarizada o no

de acuerdo a su contenido de grasa, por ejemplo si su contenido de grasa oscila entre un 0,6% y 2,8% puede denominarse como “leche semidescremada” o “parcialmente descremada”.

La leche en polvo es un producto que comercialmente se presenta como un polvo homogéneo de color crema o [blanco marfil], la cual debe rehidratarse con agua para su posterior consumo. Una de las principales características de la leche en polvo es su mayor índice de conservación ya que al ser un extracto seco de la leche, esta puede tolerar condiciones ambientales que serían más difíciles de manejar con la leche en su estado original, permitiendo de manera consecuente reducir considerablemente los costos por efectos de transporte y almacenamiento.

3.4 Ficha Técnica

En la siguiente sección se expone un sumario con las principales características comerciales, físicas y técnicas que describen a la leche en polvo, haciendo un especial énfasis en el potencial nutricional que tiene este importante producto a partir de una tabla donde se muestran las principales propiedades y aportes que deja la ingesta de este alimento, segregados de acuerdo con los grupos nutricionales existentes.

3.4.1 Presentación Comercial.

La leche en polvo será empacada en bolsas flexibles y esterilizables de 1000 gr, cuyas dimensiones son de 20 centímetros de ancho por 30 centímetros de alto, las cuales están conformadas por una combinación de aluminio y plástico que brindan las ventajas necesarias para la preservación del alimento. Las especificaciones típicas están constituidas por materiales laminados de 3 capas, puesto que, estas son el numero láminas utilizadas mayormente para bolsas que no superen un peso máximo de 1 kg. La composición basada en tres laminas, desde el interior al exterior del envase se describe a continuación:

- **Polipropileno [PP]:** Este material es un buen conductor del calor, flexible, firme y compatible con el alimento, en términos que no provoca reacciones secundarias.

- **Lamina de aluminio:** Este material se constituye en una excelente barrera de protección contra la luz, los olores, los microorganismos, además de extender la vida útil del alimento.
- **Poliéster:** Este tipo de polímero permite una resistencia a altas temperaturas, dureza y facilidad de impresión.

Cabe destacar que la utilización de las bolsas flexibles y esterilizables como empaque de la leche en polvo, traen consigo ventajas mercadológicas adicionales, como lo son:


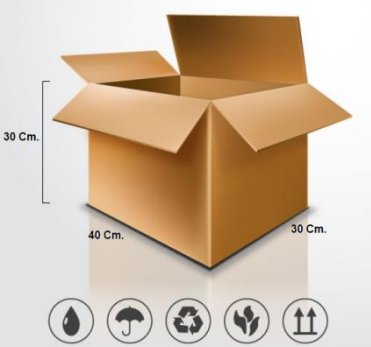
- Repercusiones económicas en el almacenamiento, transporte y distribución debido a su menor peso y volumen con respecto a los envases tradicionales.
- Facilidades para la eliminación del envase utilizado.
- Mejoras en la calidad del producto terminado, a través de una mayor retención de nutrientes, color, sabor, textura, etc.
- Excelente presentación para su comercialización.

3.4.2 Determinación del Empaque y Embalaje de la Leche en Polvo.

En este apartado se especificarán las dimensiones del empaque y embalaje que serán utilizados para proteger, conservar, presentar, distribuir y comercializar la leche en polvo entera producida en la industria propuesta en este trabajo. Por tal motivo, resulta de gran importancia escoger el tipo de material y diseño adecuado para la presentación comercial del producto ofrecido; por lo que a continuación se exponen las dimensionales de estos importantes elementos.

Tabla 2

Características Técnicas del Empaque y Embalaje del Producto Terminado

Empaque	Dimensiones [Cm]
	<p>Altura: 30 Cm</p>
	<p>Ancho: 20 Cm</p>
	<p>Espesor: 6 Cm</p>
Embalaje Primario	Dimensiones [Cm]
	<p>Altura: 30 Cm</p>
	<p>Largo: 40 Cm</p>
	<p>Ancho: 30 Cm</p>

Fuente: *Elaboración Propia.*

3.4.3 Imagen de Marketing del Producto Terminado.

Tabla 3

Presentación Comercial e Isologotipo del Producto Terminado

Imagen Representativa de la Parte Frontal del Empaque de la Leche en Polvo Vida

Presentar un producto al mercado, va mucho más allá del simple ofrecimiento de un artículo, pues implica la consideración de una serie de variables que complementan, engrandecen y distinguen la oferta inicial haciéndola viable para la empresa y atrayente para el consumidor. En este sentido, en el presente recuadro se exponen la imagen de marketing que representará a la firma, la cual contiene una serie de aspectos formales y añadidos que rodean al producto base, con el fin de darle distinción y singularidad a la leche en polvo producida en la fábrica por diseñarse, de manera que logre marcar la diferencia a nivel comercial frente a las ofertas ya existentes, y logre quedarse de forma permanente en el pensamiento de los potenciales clientes.



Peso Neto: 1kgr.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4 Descripción Física del Producto.

La leche en polvo es un producto con propiedades secas y pulverulentas, que se obtiene mediante la deshidratación de la leche natural entera, total o parcialmente desnatada, sometida a un tratamiento térmico equivalente, del cual se obtiene un polvo de color blanco o cremoso claro que conserva las propiedades nutricionales de la leche fresca.

3.4.5 Características Organolépticas.

A continuación se describen ciertas características organolépticas de la leche en polvo, como lo son el color, la textura, el olor y el sabor.

- **Color:** La leche en polvo presenta una coloración uniforme, blanco o cremoso claro.
- **Olor y sabor:** Presenta un olor y sabor agradable, no rancio, semejante a la leche fluida.
- **Textura:** La leche en polvo presenta una apariencia y contextura de polvo uniforme sin grumos.

3.4.6 Tabla de Información Nutricional.

En el siguiente apartado se describe el contenido nutricional de la leche en polvo entera por cada 100 gramos de producto comestible. En él se expone de manera tabulada la información nutricional de los diferentes grupos de nutrientes, y sus componentes:

Tabla 4

Información Nutricional de la Leche en Polvo Entera por Cada 100 gr

Información Nutricional en 100 g	
Aporte por Ración	
Energía [Kcal]	477,00
Proteína [g]	25,21
Hidratos carbono [g]	35,10
Fibra [g]	0,00
Grasa total [g]	26,20
Colesterol [mg]	97,00

Alcohol [g]	0,00
Agua [g]	6,50
Minerales	
Calcio [mg]	1.047,00
Hierro [mg]	0,70
Yodo [mg]	27,00
Magnesio [mg]	89,00
Zinc [mg]	3,10
Selenio [µg]	7,40
Sodio [mg]	371,00
Potasio [mg]	1.160,00
Vitaminas	
Vit. B1 Tiamina [mg]	0,27
Vit. B2 Riboflavina [mg]	1,40
Eq. niacina [mg]	6,28
Vit. B6 Piridoxina [mg]	0,20
Ac. Fólico [µg]	40,00
Vit. B12 Cianocobalamina [µg]	1,50
Vit. C Ac. ascórbico [mg]	11,00
Retinol [µg]	230,00
Carotenoides (Eq. β carotenos) [µg]	140,00
Vit. A Eq. Retinol [µg]	253,33
Vit. D [µg]	1,20
Ácidos Grasos	
Mirístico C14:0 [g]	2,82
Palmítico C16:0 [g]	7,52
Esteárico C18:0 [g]	2,85
Omega 3 [g]	0,00
Ac. Grasos cis	0,00
AGP cis	0,00
Palmitoleico C16:1 [g]	1,20
Oleico C18:1 [g]	7,18
Linoleico C18:2 [g]	0,55
Linolénico C18:3 [g]	0,17
Omega 6 [g]	0,00
Ac. Grasos trans	0,00

AGM trans	0,00
Aminoácidos	
Alanina [mg]	828,00
Arginina [mg]	869,00
Ac. aspártico [mg]	1.821,00
Ac. glutámico [mg]	5.027,00
Cistina [mg]	222,00
Fenilalanina [mg]	1.159,00
Glicina [mg]	508,00
Histidina [mg]	651,00
Isoleucina [mg]	1.452,00
Leucina [mg]	2.351,00
Lisina [mg]	1.903,00
Metionina [mg]	602,00
Hidroxiprolina [mg]	0,00
Prolina [mg]	2.325,00
Serina [mg]	1.306,00
Tirosina [mg]	1.159,00
Treonina [mg]	1.083,00
Triptófano [mg]	338,00
Valina [mg]	1.607,00
Hidratos de Carbono	
Hidratos de Carbono Simples	
Glucosa [g]	0,00
Fructosa [g]	0,00
Galactosa [g]	0,00
Sacarosa [g]	0,00
Lactosa [g]	35,10
Maltosa [g]	0,00
Oligosacáridos [g]	0,00
Ácidos Orgánicos	
Ac. orgánicos disponibles [g]	1,62
Oxálico [g]	0,00
Cítrico [g]	1,60

Fuente: Portal Dietas.Net. (2014). www.dietas.net

3.4.7 Características Fisicoquímicas de la Leche en Polvo Entera.

A continuación se describe las diferentes características fisicoquímicas de la leche en polvo entera, en sus valores mínimos y máximos, según lo establece el Decreto número 616 de 2006, por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano en el país.

Tabla 5

Información Fisicoquímica de la Leche en Polvo Entera

Requisitos	Leche En Polvo Entera	
	Mínimo	Máximo
Materia grasa, en % m/m	26.0	33
Humedad, en % m/m	-	4.0
Acidez expresada como ácido láctico % m/m	0.9	1.30
Índice de insolubilidad en cm ³	-	1.0
Cenizas % m/m	-	6.0
Proteínas % m/m	24.5	-
Proteínas de leche en los sólidos no grasos de la leche (Nx6,38), m/m	34	-
Na % m/m	-	0.42
K % m/m	-	1.3
Lactosa % m/m	34.0	44.0
Lactosa residual en los sólidos lácteos no grasos en leche deslactosada, % m/m	-	8.5

Fuente: Ministerio de la Protección Social. Decreto Número 616 de 2006.

3.4.8 Características Microbiológicas de la Leche Entera en Polvo.

El criterio microbiológico para un alimento define la aceptabilidad de un producto o un lote de un alimento basado en la ausencia o presencia, o en la cantidad de microorganismos, incluidos parásitos, y/o en la cantidad de sus toxinas/metabolitos, por unidad o unidades de masa, volumen, superficie o lote. En el siguiente apartado se exponen las características

microbiológicas que debe poseer la leche en polvo entera de la especie bovina para poder cumplir con los requisitos de aprobación para su comercialización y consumo.

Tabla 6

Criterios Microbiológicos para la Aceptabilidad de la Leche en Polvo

Requisitos	n	m	M	c
Recuento de microorganismos mesófilos ufc/g	3	1000	10000	1
NMP Recuento de coliformes ufc/g	3	<3	11	1
NMP Recuento de coniformes fecales ufc/g	3	<3	-	0
Recuento de mohos, y levaduras ufc/ g	3	100	500	1
Recuento de Staphylococcus aureus coagulasa positivo ufc / g	3	<100	100	1
Recuento Bacillus cereus ufc/ g	3	100	1000	1
Detección de Salmonella/25g	3	0	-	0

Fuente: Ministerio de la Protección Social. Decreto Número 616 de 2006.

Considere también los significados de las variables expuestas en la tabla, los cuales facilitan la comprensión de la información expuesta con antelación.

NMP = Número más probable (se recomienda utilizar la técnica de NMP debido a que esta técnica se utiliza más para productos con baja carga microbiana.

n = Número de muestras que se van a examinar.

m = Índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.

M = Índice máximo permisible para identificar nivel de calidad aceptable.

C = Número de muestras permitidas con resultados entre m y M.

< = Léase menor de.

4. Diseño Metodológico

La investigación del proyecto propuesto en el presente informe, se desarrollará en la ciudad de Sincelejo – Sucre, tomando como modelo a seguir el esquema del método científico tradicional, partiendo del análisis detallado del problema en cuestión, la revisión exhaustiva de los métodos propuestos para darle solución, en función de los principios y bases de funcionamiento en las que se apoyan de acuerdo a la bibliografía consultada. Posteriormente se plantea la metodología más adecuada para proponer una solución práctica a la necesidad identificada, a la que se le desarrollará el apropiado proceso de simulación y análisis estadístico de los resultados para validar su desempeño. Es importante indicar que el enfoque del proyecto de investigación propuesto es mixto, con preponderancia cuantitativa, debido a que abarca los principios del diseño en ingeniería desde una perspectiva práctica y aplicada. También es fundamental señalar que la investigación adelantada tiene alcance descriptivo con elementos correlacionales, pues a pesar de que fundamentalmente se busca especificar las propiedades y características técnicas que debe poseer el esquema de distribución en planta para proponer una solución a la necesidad identificada, existen apartados de dicho estudio en los que se hace necesario la asociación de variables mediante un patrón predecible, en especial en el análisis del desempeño del esquema de diseño propuesto.

Metodológicamente la presente de tesis se desarrollará siguiendo 5 fases, las cuales se enuncian y describen a continuación:

1. Determinación de la Brecha de Demanda:

En esta primera etapa el objetivo fundamental es identificar la demanda de leche entera en polvo, que aún no ha sido cubierta por la industria nacional en función de la relación que existe entre las proyecciones para el consumo y los niveles de producción anual histórico de leche en polvo entera en el mercado colombiano, desarrolladas por la OCDE y la FAO en su informe anual de Perspectivas Agrícolas con visión al 2023, obtenidas a partir de la búsqueda en la base de datos de estas organizaciones internacionales en las que se plantea un escenario de las condiciones macroeconómicas,

el ambiente de políticas agrícolas y comerciales, las condiciones climáticas y las tendencias de productividad y consumo en el mercado internacional.

2. Estimación de la Localización más Apropriada para el Proyecto

En esta segunda etapa se procederá a determinar la localización más apropiada para ubicar el esquema industrial propuesto en función al método Sinérgico planteado por Brown y Gibson, cuya metodología combina una serie de factores objetivos como subjetivos, para determinar la ubicación más adecuada desde una perspectiva holística y relativa de las alternativas consideradas bajo múltiples enfoques. En este sentido considere los siguientes pasos que configuran este algoritmo de localización:

- Identificación de los factores a considerar en el análisis.
- Valoración relativa de los factores anteriormente seleccionados.
- Determinación de las medidas de preferencia de localización o *MPL* , en función al análisis integral de los factores considerados.
- Selección de la alternativa de localización que exponga la máxima medida de preferencia de localización o *MPL* máxima.

3. Caracterización del Proceso Productivo:

Una vez conocida la demanda se procederá a desarrollar una investigación de las operaciones del proceso productivo de fabricación de la leche en polvo que permita determinar los tiempos de procesamiento y los requerimientos de máquina del esquema a diseñar, para esto se procederá a seguir la siguiente metodología:

- Determinación de las operaciones y de la secuencia del proceso productivo de fabricación de la leche en polvo entera.
- Determinación de la capacidad, tiempos de procesamientos, dimensiones, tipo de tecnología de operación y demás requerimientos técnicos de maquina necesarios para modelar el sistema.

- Diseño y construcción de los diagramas de operaciones y procesos.
- Descripción técnica de las operaciones implicadas, de acuerdo con la secuencia expuesta en los diagramas anteriormente citados.

4. Aplicación de la Metodología de Planificación Sistemática de Layout:

Para la implementación de la lógica planteada por Richard Muther, la cual tiene como objetivo principal crear un esquema de distribución en planta lo más eficiente posible satisfaciendo la mayor cantidad de relaciones importantes entre los departamentos que componen a la fábrica de leche en polvo propuesta en el presente informe, se procederá a seguir el siguiente grupo de pasos:

- Determinación del diagrama de la relación de actividades.
- Desarrollo del diagrama de relaciones.
- Elaboración de la hoja de trabajo.
- Construcción de las diversas alternativas de diagramas adimensionales de bloques.
- Selección del diagrama de bloque que mejor se ajuste al esquema de producción y a los intereses del equipo de trabajo.

5. Simulación del Esquema Teóricamente Diseñado:

Una vez obtenido el esquema de distribución en planta acotado, se procederá a simular el modelo teóricamente diseñado en la plataforma asistida de FlexSim con el fin de validar estadísticamente el comportamiento y desempeño del sistema bajo las condiciones propuestas por el equipo de diseño. En este orden de ideas para alcanzar este objetivo se procederá a desarrollar el siguiente procedimiento lógico:

- Definición del sistema a simular.
- Formulación del modelo.
- Recolección de los datos.
- Implementación del modelo en la plataforma asistida de FlexSim v16.

- Validación del modelo.
- Experimentación del esquema para el periodo de operación propuesto por el equipo de diseño.
- Interpretación estadística de los resultados obtenidos.
- Documentación de las perspectivas de la experiencia.

5. Resultados Obtenidos

5.1 Caracterización de la Brecha de Demanda

Para poder estimar el valor medio de la demanda anual de leche en polvo entera en función a información proveniente de fuentes fidedignas, se tomó como marco de referencia principal “El Informe de Perspectivas Agrícolas” o “Agricultural Outlook”, el cual se constituye en un esfuerzo conjunto desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. En el que anualmente se reúne tanto el conocimiento y experiencia que ambas organizaciones tienen en cuanto a productos básicos, políticas y países, como también se consideran los aportes desarrollados por los países colaboradores, para así proveer una evaluación anual del panorama para la próxima década de los mercados nacionales, regionales y mundiales de los productos básicos agrícolas. Aunque las proyecciones del nivel de referencia contenidas en el análisis estadístico elaborado por estas organizaciones no son una predicción absoluta del futuro, si se constituyen en un escenario plausible y rigurosamente modelado, elaborado sobre la base de supuestos específicos, asociados a las condiciones macroeconómicas, el ambiente de políticas agrícolas y comerciales, las condiciones climáticas, las tendencias de productividad a largo plazo y los desarrollos y avances en el mercado internacional.

Las proyecciones individuales de los productos básicos analizados, dentro de las cuales se consideran los derivados del sector lácteo para Colombia, como lo es el caso de la leche entera en polvo, fueron sujetas a un examen crítico por parte de los expertos de la OCDE, otros países colaboradores y expertos de la industria, antes de su finalización y publicación en dicho reporte. En el cual los riesgos e incertidumbres en las proyecciones del nivel de referencia se examinaron mediante una amplia gama de posibles escenarios alternativos y análisis estocástico, los cuales ilustran cómo los resultados del mercado pueden diferir de las proyecciones deterministas del nivel de referencia. En este sentido considere las siguientes tablas en la que se expone el comportamiento anual histórico de la producción y el consumo de la leche en polvo entera [Whole Milk Powder (pw)] en Colombia, para el periodo comprendido entre los años de 1988 y el 2023, de acuerdo con las proyecciones desarrolladas por los expertos de la OCDE y la FAO.

Tabla 7

*Producción de Leche en Polvo Entera en Colombia
para el Periodo [1988-2023] en Miles de Toneladas*

Country	Colombia
Variable	Production
Commodity	Whole milk powder (pw)
Time	
1988	14,50
1989	14,50
1990	14,50
1991	14,50
1992	14,50
1993	13,50
1994	13,50
1995	12,00
1996	30,00
1997	35,00
1998	37,90
1999	38,60
2000	39,00
2001	39,00
2002	39,50
2003	39,50
2004	40,00
2005	40,25
2006	40,25
2007	40,25
2008	40,25
2009	40,25
2010	40,25
2011	40,25
2012	40,25
2013	40,25
2014	40,93
2015	45,34
2016	47,08
2017	48,73
2018	50,54
2019	49,31
2020	51,97
2021	51,32
2022	49,59
2023	54,76

*Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe
de Perspectivas Agrícolas 2014-2023*

Tabla 8

*Consumo de Leche en Polvo Entera en Colombia
para el Periodo [1988-2023] en Miles de Toneladas*

Country	Colombia
Variable	Consumption
Commodity	Whole milk powder (pw)
Time	
1988	15,25
1989	16,10
1990	17,21
1991	18,63
1992	20,38
1993	22,46
1994	24,81
1995	27,34
1996	29,87
1997	32,08
1998	33,73
1999	34,72
2000	35,18
2001	35,24
2002	35,05
2003	34,85
2004	34,81
2005	35,09
2006	35,76
2007	36,83
2008	38,26
2009	40,02
2010	42,03
2011	44,20
2012	46,42
2013	48,61
2014	45,93
2015	50,34
2016	52,08
2017	53,72
2018	55,54
2019	54,31
2020	56,97
2021	56,32
2022	54,59
2023	59,75

*Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe
de Perspectivas Agrícolas 2014-2023*

Con la información contenida en las anteriores tablas se procede a desarrollar un contraste entre el comportamiento anual de la producción y el consumo de leche en polvo entera en Colombia para el periodo comprendido entre el año 2000 hasta el 2023, con el fin de analizar la diferencia entre ambas entidades y validar la presencia de la brecha de demanda no cubierta por los productores nacionales.

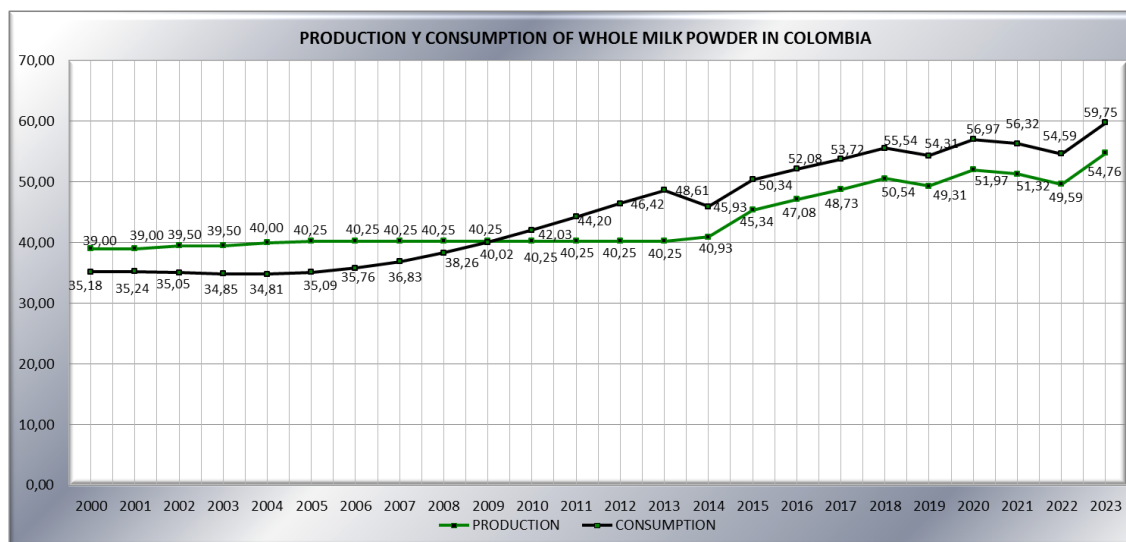


Figura 1 Curvas de Producción y Consumo de Leche en Polvo Entera en Colombia entre los Años [2000-2023] en Miles de Toneladas

Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe de Perspectivas Agrícolas 2014-2023. OCDE/FAO. (2013).

Tabla 9

Contraste Entre la Producción y el Consumo de Leche en Polvo Entera en Colombia entre los Años [2000-2023] en Miles de Toneladas

YEAR	PRODUCTION	CONSUMPTION	DIFFERENCE	PERCENTAGE OF DIFFERENCE
2000	39,00	35,18	3,82	10%
2001	39,00	35,24	3,76	10%
2002	39,50	35,05	4,45	11%
2003	39,50	34,85	4,65	12%
2004	40,00	34,81	5,19	13%
2005	40,25	35,09	5,16	13%
2006	40,25	35,76	4,49	11%
2007	40,25	36,83	3,42	9%
2008	40,25	38,26	1,99	5%
2009	40,25	40,02	0,23	1%
2010	40,25	42,03	-1,78	-4%
2011	40,25	44,20	-3,95	-10%
2012	40,25	46,42	-6,17	-15%
2013	40,25	48,61	-8,36	-21%
2014	40,93	45,93	-5,00	-12%
2015	45,34	50,34	-5,00	-11%
2016	47,08	52,08	-5,00	-11%
2017	48,73	53,72	-5,00	-10%
2018	50,54	55,54	-5,00	-10%
2019	49,31	54,31	-5,00	-10%
2020	51,97	56,97	-5,00	-10%
2021	51,32	56,32	-5,00	-10%
2022	49,59	54,59	-5,00	-10%
2023	54,76	59,75	-5,00	-9%

Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe de Perspectivas Agrícolas 2014-2023. OCDE/FAO. (2013).

En función de la diferencia identificada entre la producción y el consumo de leche entera en polvo en Colombia para el periodo comprendido entre el año 2010 al 2023, se procede a aislar la brecha de demanda identificada para cada año a través de un diagrama de barras, con el fin de determinar el valor medio de la demanda de este insumo no cubierta por la industria nacional, el cual se fija en 5.017 toneladas.

Tabla 10

Diferencia Media entre la Producción y el Consumo Anual de Leche Entera en Polvo en Colombia en Miles de Toneladas

Año Analizado	Producción	Consumo	Diferencia	Diferencia Media
2010	40,25	42,03	1,776	5,017
2011	40,25	44,20	3,945	
2012	40,25	46,42	6,169	
2013	40,25	48,61	8,358	
2014	40,93	45,93	4,999	
2015	45,34	50,34	4,999	
2016	47,08	52,08	4,999	
2017	48,73	53,72	4,999	
2018	50,54	55,54	4,999	
2019	49,31	54,31	4,999	
2020	51,97	56,97	4,999	
2021	51,32	56,32	4,999	
2022	49,59	54,59	4,999	
2023	54,76	59,75	4,999	

Fuente: *Elaboración Propia Basado en el Informe de Perspectivas Agrícolas 2014-2023. OCDE/FAO. (2013).*

Con esta información es posible graficar un diagrama de barras, en el que se ilustre el comportamiento histórico de la brecha de demanda aislada para el periodo comprendido entre el año 2010 y el 2023, con relación al valor medio de la demanda que será empleado como entidad numérica de referencia para el análisis de la proyección de la capacidad instalada de la planta por diseñarse.

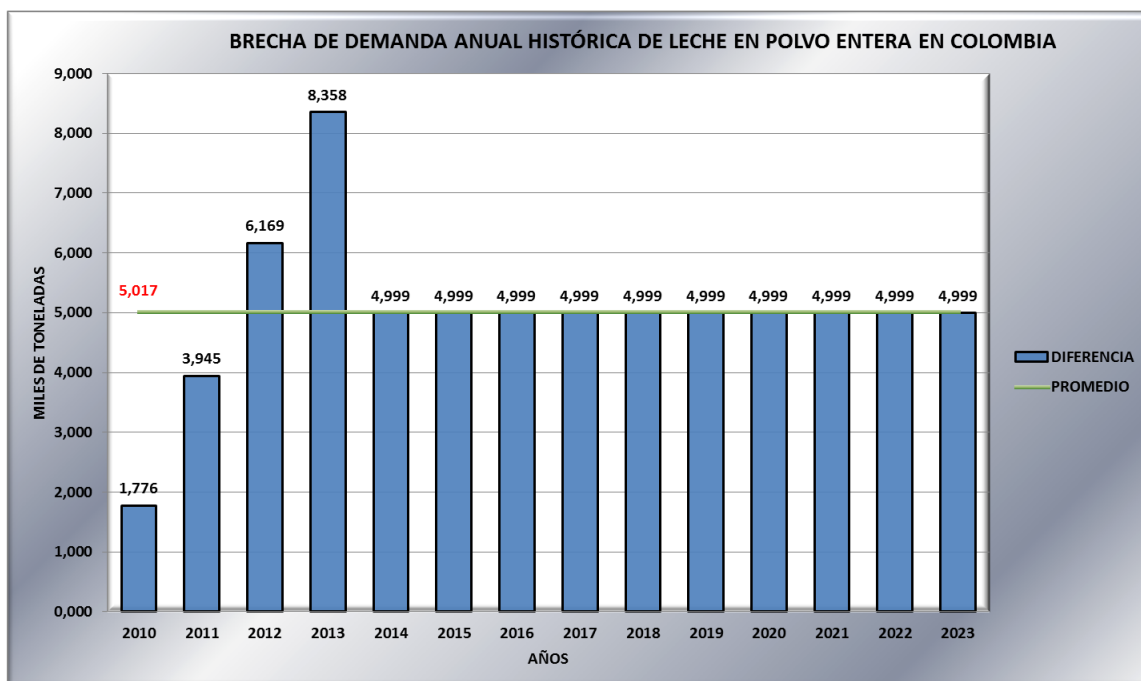


Figura 2 Análisis Gráfico de la Brecha de Demanda Anual de Leche en Polvo Entera en Colombia Aislada para el Periodo del [2010-2023]

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.1 Proyección de la Capacidad Instalada de la Industria de Leche en Polvo Entera para un Horizonte de 15 Años.

Con el fin de poder iniciar el proceso de análisis técnico y el diseño del esquema de distribución en planta propuesto para ayudar a cubrir una proporción de la brecha de demanda de leche en polvo entera identificada en Colombia, se hace preciso primero que todo determinar el valor inicial de la capacidad instalada que tendrá la industria a diseñarse, en función a la demanda promedio anual estimada a partir del contraste entre las curvas de producción y consumo anual histórico de este insumo, según lo indican las proyecciones desarrolladas por la OCDE y la FAO en su informe de perspectivas agrícolas, en el cual es posible apreciar una brecha entre el comportamiento de ambas entidades a través del tiempo, cuyo valor medio es de 5.017 toneladas y se extiende desde el año 2010 hasta por lo menos el 2023 exponiendo una oportunidad para generar valor dentro de este importante sector. Para conseguir este objetivo se procederá a determinar la razón de crecimiento promedio anual de la demanda de leche en polvo

entera no cubierta por la industria nacional, de acuerdo con el comportamiento de la brecha existente para el periodo analizado [2010-2023], empleando la expresión para calcular la variación porcentual anual, la cual permite describir la relación entre los valores de la demanda para dos de los periodos analizados en el horizonte considerado, tal y como se expone a continuación:

$$\text{Variación Porcentual Anual} = \frac{[\text{Demanda Periodo } T] - [\text{Demanda Periodo } T-1]}{[\text{Demanda Periodo } T-1]} \cdot 100$$

Tabla 11

Estimación de la Tasa de Crecimiento Promedio Anual de la Demanda

Año Analizado	Producción	Consumo	Diferencia	Variación Porcentual Anual
2010	40,25	42,03	1,776	--
2011	40,25	44,20	3,945	122,15%
2012	40,25	46,42	6,169	56,36%
2013	40,25	48,61	8,358	35,50%
2014	40,93	45,93	4,999	-40,19%
2015	45,34	50,34	4,999	0,00%
2016	47,08	52,08	4,999	0,00%
2017	48,73	53,72	4,999	0,00%
2018	50,54	55,54	4,999	0,00%
2019	49,31	54,31	4,999	0,00%
2020	51,97	56,97	4,999	0,00%
2021	51,32	56,32	4,999	0,00%
2022	49,59	54,59	4,999	0,00%
2023	54,76	59,75	4,999	0,00%
Tasa de Crecimiento Promedio Anual				13,37%

Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe de Perspectivas Agrícolas 2014-2023. OCDE/FAO. (2013).

En este sentido, se concluye que la tasa de crecimiento promedio por año de la demanda de leche entera en polvo en Colombia es de 13,37%, según lo expone la variación porcentual de la demanda anual para el periodo en el que se manifiesta la brecha entre la producción y el consumo histórico de este insumo. Sin embargo, este porcentaje de crecimiento es demasiado ambicioso para poder proyectar un horizonte realmente alcanzable que permita cubrir la

demanda nacional insatisfecha de leche en polvo entera para un nuevo proyecto emergente de diseño de distribución en planta, pues de acuerdo con la Encuesta Mensual Manufacturera [EMM] desarrollada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], para el periodo comprendido entre el año 2013 al 2016 con corte en los meses de Enero, en los que usualmente se presenta un pico cíclico de máxima producción de leche fresca en los que el exceso de oferta es especialmente destinado a la fabricación de leche en polvo, gracias a las condiciones óptimas de los pastos asociada a los altos niveles de precipitación en el país, la variación promedio anual de la producción real de la industria láctea es de solo 7,05%, proporción que está por debajo de la tasa de crecimiento anteriormente estimada en función a la brecha de demanda, tal y como se expone a continuación:

Tabla 12

Variación Anual de la Producción Real de la Industria Láctea Nacional según el DANE

Variación Anual de la Producción Real para el Periodo [2013-2016]	
Periodo Evaluado [Mes/Año]	Producción Real de la Industria Láctea [%]
Ene-16	5,4
Ene-15	5,2
Ene-14	8,1
Ene-13	9,5
VARIACIÓN PROMEDIO ANUAL [%]	7,05

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], Encuesta Mensual Manufacturera [EMM]. (2013-2016).

En este orden de ideas y respetando la variación promedio anual de la producción real de la industria láctea estimada según la información del DANE, el equipo de trabajo se propone a determinar la capacidad inicial con la que se calcularan los requerimientos de máquina del esquema de distribución en planta por diseñar, considerando una razón de crecimiento de solo el 50% de la tasa anteriormente estimada según las proyecciones de la OCDE y la FAO, y considerando un horizonte viable para el proyecto de 15 años en los que se pretende lograr cubrir

la demanda promedio anual insatisfecha a nivel nacional, tal y como se expone en la siguiente tabla:

Tabla 13

Determinación de la Capacidad Inicial del Esquema de Distribución por Diseñar

Año Proyectado [T]	Tasa de Crecimiento Anual Estimada [%]	Demanda del Presente Periodo [T]	Cantidad de Crecimiento de la Capacidad	Demanda del Periodo Anterior [T-1]
15	6,69%	5,017	0,335	4,682
14	6,69%	4,682	0,313	4,369
13	6,69%	4,369	0,292	4,077
12	6,69%	4,077	0,273	3,804
11	6,69%	3,804	0,254	3,550
10	6,69%	3,550	0,237	3,312
9	6,69%	3,312	0,221	3,091
8	6,69%	3,091	0,207	2,884
7	6,69%	2,884	0,193	2,692
6	6,69%	2,692	0,180	2,512
5	6,69%	2,512	0,168	2,344
4	6,69%	2,344	0,157	2,187
3	6,69%	2,187	0,146	2,041
2	6,69%	2,041	0,136	1,904
1	6,69%	1,904	0,127	1,777
0		1,777		

Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe de Perspectivas Agrícolas 2014-2023. OCDE/FAO. (2013).

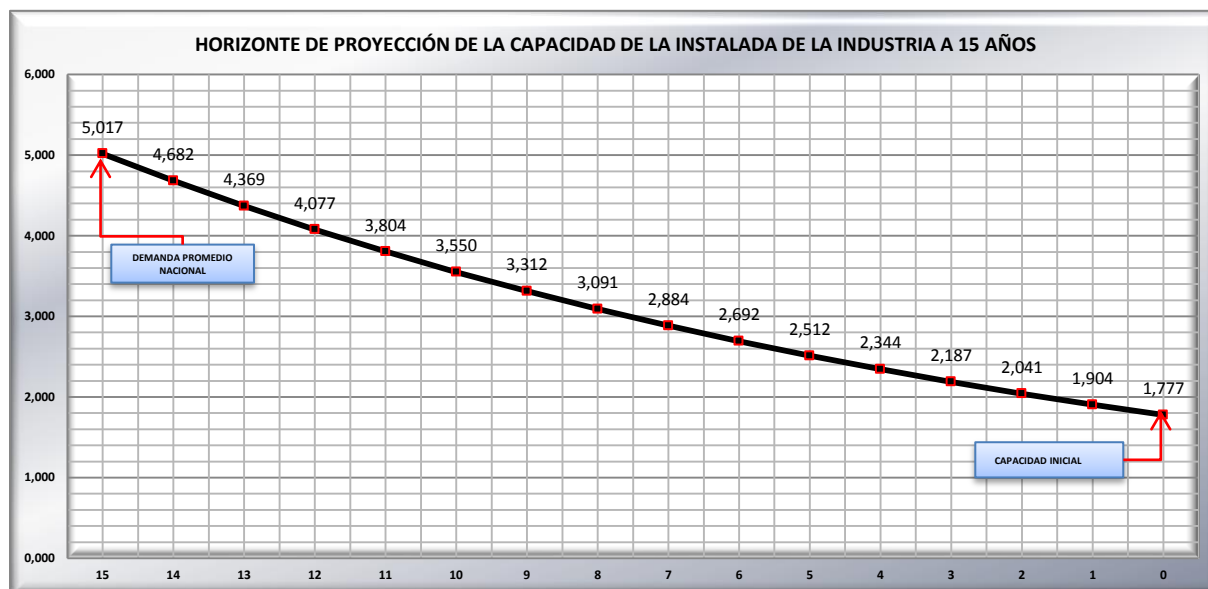


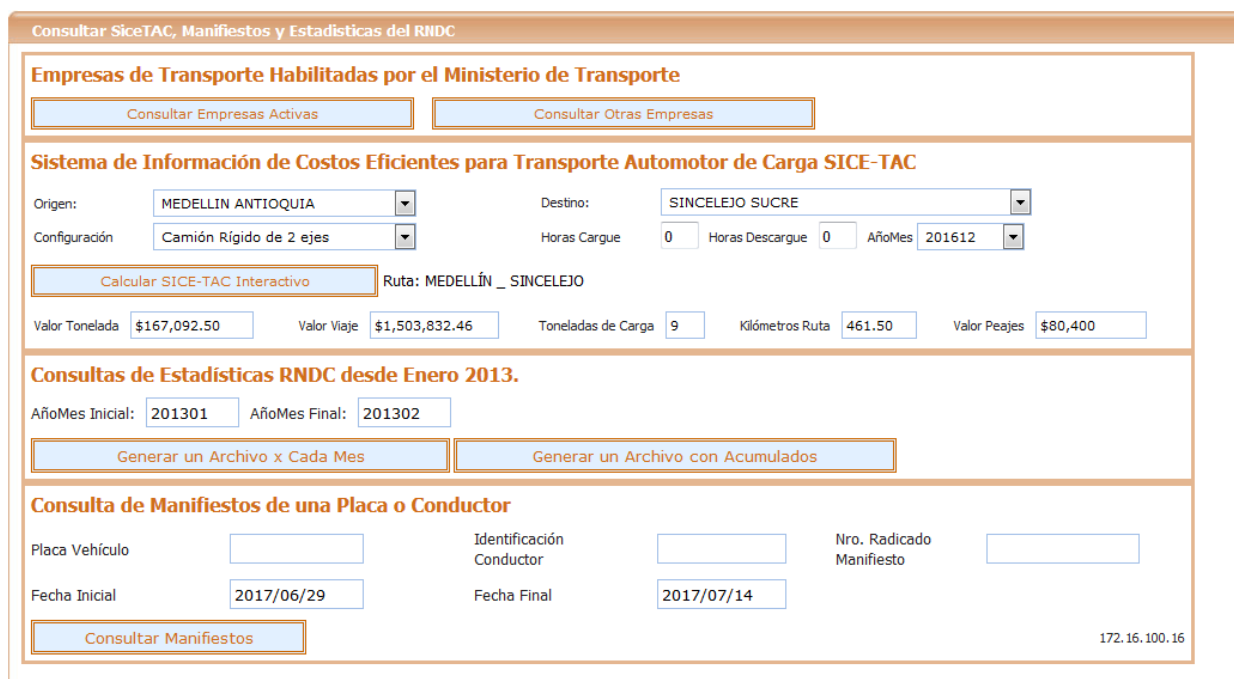
Figura 3 Proyección de la Capacidad Instalada de la Industria a 15 Años

Fuente: Elaboración Propia Basado en el Informe de Perspectivas Agrícolas 2014-2023. OCDE/FAO. (2013).

Finalmente considerando el valor de la demanda promedio anual calculada según lo contenido en el informe de perspectivas agrícolas de la OCDE y la FAO y empleando una tasa de crecimiento anual de solo 6,69%, la cual coincide con la mitad del valor inicialmente estimado de 13,37% para el horizonte de crecimiento considerado de 15 años, y que además se encuentra por debajo de la variación promedio anual de la producción real de la industria láctea emitida por el DANE, el valor teórico de la capacidad inicial con el que se debe iniciar el proceso de diseño del esquema de distribución en planta propuesto en el presente informe es de 1.777 toneladas anuales; sin embargo para efectos prácticos el equipo de trabajo redondeará este valor a 1.780 toneladas de leche completamente deshidratada al año, valor que coincide con el 35.47% de la demanda promedio anual a nivel nacional inicialmente estimada, con el propósito de considerar un pequeño sesgo de producción para cubrir posibles eventualidades asociadas a variaciones en el mercado.

5.2 Localización del Proyecto de la Planta Productora de Leche en Polvo

Para determinar la localización de la planta considerada en este proyecto se empleará el método de Brown y Gibson, el cual es una técnica que combina una serie de factores tanto objetivos como subjetivos, de modo que se propicie la determinación de la localización más adecuada para el esquema productivo a partir de una perspectiva integral y relativa de las ubicaciones propuestas bajo múltiples enfoques. Para esto será necesaria la consideración de una serie de características cuantificables tales como los costos de la leche fresca, obtenidos a partir de fuentes fidedignas como lo es el boletín mensual donde se describe el comportamiento de los precios de la leche cruda durante el mes de Marzo del 2017, emitido el 10 de Mayo del presente año por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] y el Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC del Ministerio de Transporte, el cual es una plataforma informática que permite estimar de forma dinámica el costo de referencia para las negociaciones a través del transporte de carga por carretera, a partir de una serie de datos ingresados en este aplicativo, tal y como se expone a continuación.



The screenshot displays the SICE-TAC web application interface with the following sections:

- Empresas de Transporte Habilitadas por el Ministerio de Transporte:** Includes buttons for "Consultar Empresas Activas" and "Consultar Otras Empresas".
- Sistema de Información de Costos Eficientes para Transporte Automotor de Carga SICE-TAC:**
 - Origin: MEDELLIN ANTIOQUIA
 - Destino: SINCELEJO SUCRE
 - Configuración: Camión Rígido de 2 ejes
 - Horas Cargue: 0, Horas Descargue: 0, AñoMes: 201612
 - Buttons: "Calcular SICE-TAC Interactivo" and "Ruta: MEDELLÍN _ SINCELEJO"
 - Results: Valor Tonelada (\$167,092.50), Valor Viaje (\$1,503,832.46), Toneladas de Carga (9), Kilómetros Ruta (461.50), Valor Peajes (\$80,400)
- Consultas de Estadísticas RNDC desde Enero 2013:**
 - AñoMes Inicial: 201301, AñoMes Final: 201302
 - Buttons: "Generar un Archivo x Cada Mes" and "Generar un Archivo con Acumulados"
- Consulta de Manifiestos de una Placa o Conductor:**
 - Placa Vehículo, Identificación Conductor, Nro. Radicado Manifiesto (input fields)
 - Fecha Inicial: 2017/06/29, Fecha Final: 2017/07/14
 - Button: "Consultar Manifiestos"

Figura 4 Plataforma del Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC

Fuente: Ministerio de Transporte. (2017). Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC.

Posteriormente se procederá a fusionar estos criterios cuantitativos con relación a entes cualitativos como la seguridad, el ambiente socio-económico, la disponibilidad de mano de obra calificada y las ventajas estratégicas y logísticas observadas en las posibles alternativas de instalación, con lo cual será posible validar la opción de localización más apropiada para el proyecto propuesto. En consecuencia de esto, en el siguiente apartado se describirán y se formularán los pasos con los que será posible validar la ubicación física de esta planta industrial, empleando los criterios de dicho método.

5.2.1 Método de Brown y Gibson.

Como ya se mencionó el método de Brown y Gibson señala que para determinar la localización de un proyecto es necesario considerar la combinación de los factores objetivos y subjetivos posibles, a los cuales se les asignan una calificación relativa por cada opción de localización viable implicada en el análisis, con lo cual a partir del protocolo matemático descrito a continuación será posible determinar con un enfoque adecuado la localización del presente proyecto.

5.2.1.1 Protocolo para Estimar la Localización más Apropiada del Proyecto Empleando el Método de Brown y Gibson.

La implementación de este método sugiere el seguimiento ordenado del siguiente grupo de pasos:

- Determinar los factores objetivos y subjetivos de cada localización posible.
- Asignar un valor relativo a cada factor objetivo FO_i para cada localización optativa viable.
- Estimar un valor relativo de cada factor subjetivo FS_i para cada localización posible.
- Combinar los factores objetivos y subjetivos, asignándoles una ponderación relativa, con el fin de obtener una medida de preferencia de localización o MPL .

- Seleccionar la ubicación que tenga la máxima medida de preferencia de localización o *MPL* máxima.

5.2.1.2 Factores Considerados en la Localización del Proyecto.

A continuación se expone una lista con los factores objetivos y subjetivos considerados en la estimación y validación de la localización óptima del presente proyecto industrial:

- **Factores objetivos considerados:**
 - Precios promedios actualizados de la leche cruda en finca según las estadísticas del DANE.
 - Costos por efectos de transporte según el Sistema de Información SICE-TAC del Ministerio del Transporte.
- **Factores subjetivos considerados:**
 - Seguridad del área, es decir, capacidad ofrecida en la ubicación para la asistencia inmediata de los organismos de atención de emergencias, [Cruz Roja, Bomberos, Policía Nacional, Etc.] ante cualquier eventualidad ocurrida en la planta.
 - Condiciones económicas, sociales y culturales de cada localización.
 - Disponibilidad de mano de obra técnica y profesional especializada en el sector lácteo.
 - Ventajas estratégicas y logísticas de la ubicación.

5.2.1.3 Costos Considerados en el Análisis de Localización.

Considere los siguientes datos obtenidos del boletín mensual de la oferta de precios de leche cruda a nivel nacional emitido por el DANE para el mes de Marzo del presente año, en el cual se exponen los precios por litro de este insumo para cada uno de los municipios de los departamentos considerados como potenciales alternativas de localización de la planta de procesamiento de leche considerada en este proyecto.

Tabla 14

Precios de la Leche Cruda en Sucre Según el DANE

Departamento de Sucre			
MUNICIPIOS	Precios [\$/Lts].		
	Mínimo	Máximo	Medio
Galeras	1000	1000	1000
Ovejas	800	850	816
San Luis de Sincé	900	1000	951
San Marcos	1000	1000	1000
San Onofre	950	1070	1002
San Pedro	850	1000	997
Sincelejo	850	1200	1109
Tolú Viejo	900	1135	1062
Precio Promedio			992

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2017). Boletín Mensual de los precios de la leche cruda en finca.

Tabla 15

Precios de la Leche Cruda en Córdoba Según el DANE

Departamento de Córdoba			
Municipios	Precios [\$/Lts].		
	Mínimo	Máximo	Medio
Ayapel	800	1000	909
Buenavista	800	1025	966
Cereté	900	1160	1035
Chinú	800	1100	958
Ciénaga de Oro	900	1000	974
Lorica	700	1000	944
Montelíbano	800	1350	1040
Montería	860	1000	910
Planeta Rica	700	1120	847
Pueblo Nuevo	800	1020	949
Sahagún	850	1060	1008
San Pelayo	850	1000	988
Precio Promedio			961

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2017). Boletín Mensual de los precios de la leche cruda en finca.

Tabla 16

Precios de la Leche Cruda en Bolívar Según el DANE

Departamento de Bolívar			
Municipios	Precios [\$/Lts].		
	Mínimo	Máximo	Medio
Arjona	1000	1300	1104
Calamar	950	1200	1057
El Carmen de Bolívar	1100	1300	1196
El Guamo	1200	1300	1203
Magangué	1000	1000	1000
Mahates	1100	1400	1256
María la Baja	1000	1300	1144
San Estanislao	1100	1300	1185
San Juan Nepomuceno	1000	1300	1182
Precio Promedio			1147

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2017). Boletín Mensual de los precios de la leche cruda en finca.

Posteriormente considere los precios por efectos de transporte para cada uno de los posibles trayectos considerados en el esquema logístico, teniendo en cuenta el análisis desarrollado a través del aplicativo del Sistema de Información SICE-TAC del Ministerio del Transporte, en el cual se obtienen los costos incurridos por movilizar cargas hasta su destino en Pesos por tonelada.

Tabla 17

Costos por Efectos de Transporte para cada uno de los Trayectos Considerados según el SICE-TAC

Costos de Transporte [Pesos/Ton]			
Origen	Destinos		
	Sincelejo	Montería	Cartagena
Cartagena [Bolívar]	61693	103055	0
Montería [Córdoba]	36965	0	103055
Sincelejo [Sucre]	0	36965	61693

Fuente: Ministerio de Transporte. (2017). Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC.

No obstante, los datos obtenidos con este aplicativo y expuestos en la anterior tabla, están en función de pesos por tonelada [\$/Ton] de carga transportada, sin embargo para poder adecuar estos valores a nuestro análisis se precisa obtener el equivalente de costo por efectos de transportar un litro de leche hasta su destino, por lo que se hace preciso estimar el equivalente volumétrico de la leche transportada en función de la masa de referencia que se obtuvo con anterioridad. Para poder obtener este valor equivalente es fundamental considerar tanto el concepto mismo de densidad de una sustancia como el valor mismo de dicha densidad para la leche cruda, con el cual será posible estimar un valor de referencia válido en litros y representativo a la masa en toneladas. En este orden de ideas y considerando que de acuerdo al reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano de acuerdo con el decreto número 616 de 2006 del Ministerio de Protección Social, el valor de la densidad máxima de la leche cruda al 3% de grasa y a 15°C de temperatura es de 1.033 [Kg/Lts], valor con el cual es posible estimar el equivalente volumétrico en litros de una tonelada a partir del concepto de densidad:

$$\rho = \frac{Masa}{Volumen}$$

$$Masa = 1 \text{ Tonelada} = 1000Kgr.$$

$$\rho = 1.033 [Kg/Lts]$$

Por lo tanto despejando,

$$Volumen = \frac{Masa}{\rho}$$

$$Volumen = \frac{1000Kgr}{1.033 [Kg/Lts]}$$

Con lo que se concluye que 1 tonelada de leche cruda ocupan un volumen de,

$$Volumen = 968.05 \text{ Litros}$$

De este modo y considerando este valor se procede a estimar el costo equivalente por efecto de transportar un solo litro de leche hasta cada potencial ubicación de la planta a partir de

un cociente entre el costo de referencia de transporte obtenido con el aplicativo y el equivalente volumétrico de una tonelada, tal y como se expone a continuación:

Tabla 18

Costo Equivalente por el Transporte de un Litro de Leche hacia cada uno de los Trayectos Considerados según el SICE-TAC

Costos de Transporte [Pesos/Lts]			
Origen	Destinos		
	Sincelejo	Montería	Cartagena
Cartagena [Bolívar]	64	106	0
Montería [Córdoba]	38	0	106
Sincelejo [Sucre]	0	38	64

Fuente: Ministerio de Transporte. (2017). Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC.

5.2.1.4 Formulación de la Tabla Inicial de los Costos Anuales Normalizados.

Considere la siguiente tabla en la que se consignaron los valores normalizados en función de unidades de mil de cada uno de los costos por adquirir la leche en cada localización optativa viable, los cuales resultan de sumar el precio medio de venta de un litro de leche en cada localidad con el costo por transportar dicho litro de leche hasta su posible destino.

Tabla 19

Valores Normalizados en Función de Unidades de mil para cada uno de los Costos Implicados

ATRIBUTOS DE DECISIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES OBJETIVOS						
NOTACIÓN	LOCALIZACIÓN	COSTO DE LA LECHE CRUDA EN SINCELEJO [SUCRE]	COSTO DE LA LECHE CRUDA EN MONTERÍA [CÓRDOBA]	COSTO DE LA LECHE CRUDA EN CARTAGENA [BOLÍVAR]	TOTAL [Ci]	RECIPROCO [1/Ci]
A	SINCELEJO	0,992	0,999	1,211	3,20	0,31
B	MONTERÍA	1,030	0,961	1,254	3,24	0,31
C	CARTAGENA	1,056	1,067	1,147	3,27	0,31
TOTAL		→				0,926

Fuente: Elaboración Propia Según Datos del DANE y del SICE-TAC.

5.2.1.5 Estimación de los Factores Objetivos de Calificación .

La estimación de los factores de calificación objetiva precisa de la consideración de la siguiente expresión matemática:

$$Fo_T = \frac{1/c_i}{\sum_{i=1}^n 1/c_i}$$

Con la cual es posible obtener la siguiente ponderación para cada factor objetivo asociado:

Tabla 20

Factores Objetivos para las Localizaciones Consideradas

Fo[A]	0,337
Fo[B]	0,333
Fo[C]	0,330
Total	1

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.6 Estimación de los Factores Subjetivos.

El cálculo de los factores subjetivos requiere de la consideración de la siguiente ecuación matemática:

$$Fs_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \cdot W_j$$

Dónde:

W_j : Es el índice de importancia **Relativa** para cada factor subjetivo.

R_{ij} : Es la ordenación jerárquica de cada factor subjetivo.

Una vez realizado un proceso de consenso, el equipo de trabajo del proyecto determinó que los factores subjetivos relevantes a considerar como elementos que manifiestan un índice

de potencial influencia cualitativa en las actividades a desarrollarse en la planta de leche en polvo son:

- Seguridad del área, es decir, capacidad ofrecida en la ubicación para la asistencia inmediata de los organismos de atención de emergencias, [Cruz Roja, Bomberos, Policía Nacional, Etc.] ante cualquier eventualidad ocurrida en la planta.
- Condiciones económicas, sociales y culturales de cada alternativa de localización.
- Disponibilidad de mano de obra técnica y profesional especializada en el sector lácteo.
- Ventajas estratégicas y logísticas de la ubicación.

Posteriormente considere el resultado de las combinaciones pareadas indicado en el siguiente cuadro, en el cual se asigna en las columnas de la matriz el valor de 1 al factor más relevante y el de 0 al menos importante, sin olvidar que si son equivalentes los dos factores se les dará una ponderación de 1 a ambos en dicha pareja combinada.

5.2.1.7 Determinación del Índice de Importancia Relativa [WJ].

Tabla 21

Índices de Importancia Relativa para los Factores Subjetivos Considerados

FACTOR [j]	COMBINACIONES PAREADAS						SUMA DE PREFERENCIAS	ÍNDICE [Wj]
	1	2	3	4	5	6		
SEGURIDAD DEL SECTOR	1	1	1				3	0,33
CONDICIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y CULTURALES DEL SECTOR	1			0	0		1	0,11
DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA		1		1		0	2	0,22
VENTAJAS ESTRATÉGICAS Y LOGÍSTICAS DE LA UBICACIÓN			1		1	1	3	0,33
TOTAL	→						9	1

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.8 Determinación del Ordenamiento Jerárquico Rij.

En este apartado se procederá a estimar el nivel jerárquico que tendrá cada uno de los factores subjetivos sobre las opciones de localización anteriormente consideradas.

Tabla 22

Orden Jerárquico para cada Factor Subjetivo Considerado Respecto a cada Opción de Localización

FACTOR [j]	SEGURIDAD DEL SECTOR					CONDICIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y CULTURALES DEL SECTOR					DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA					VENTAJAS ESTRATÉGICAS Y LOGÍSTICAS DE LA UBICACIÓN								
	COMBINACIONES PAREADAS					COMBINACIONES PAREADAS					COMBINACIONES PAREADAS					COMBINACIONES PAREADAS								
	1	2	3	SUMA DE PREFERENCIAS	R1	1	2	3	SUMA DE PREFERENCIAS	R1	1	2	3	SUMA DE PREFERENCIAS	R1	1	2	3	SUMA DE PREFERENCIAS	R1				
SINCELEJO	1	0		1	0,20	0	0		0	0,00	0	0		0	0,00	1	1		2	0,50				
MONTERÍA	1		1	2	0,40	1		1	2	0,50	1		1	2	0,67	0		1	1	0,25				
CARTAGENA		1	1	2	0,40		1	1	2	0,50		1	0	1	0,33		0	1	1	0,25				
TOTAL	→				5	1	→				4	1	→				3	1	→				4	1

Fuente: *Elaboración Propia.*

5.2.1.9 Presentación de los Datos de Ponderación y Cálculo de los Factores Subjetivos.

Con esta información es posible resumir en una pequeña tabla los parámetros estimados a partir del análisis de los factores subjetivos anteriormente validados tal y como se expone a continuación:

Tabla 23

Resumen de las Ponderaciones de los Factores Subjetivos Considerados

FACTOR [j]	PUNTAJE RELATIVO R_{ij}			ÍNDICE $[W_j]$
	SINCELEJO	MONTERÍA	CARTAGENA	
SEGURIDAD DEL SECTOR	0,20	0,40	0,40	0,33
CONDICIONES ECONÓMICAS SOCIALES Y CULTURALES DEL SECTOR	0,00	0,50	0,50	0,11
DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA	0,00	0,67	0,33	0,22
VENTAJAS ESTRATÉGICAS Y LOGÍSTICAS DE LA UBICACIÓN	0,50	0,25	0,25	0,33

Fuente: *Elaboración Propia.*

Remplazado estos valores en la ecuación $Fs_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \cdot W_j$ anteriormente planteada se procederá a estimar los factores subjetivos asociados a cada posible localización, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 24

Valores Finales de los Factores Subjetivos de Considerados

Factor Subjetivo de cada Localización	Valor
Fs[A]	0,233
Fs[B]	0,420
Fs[C]	0,346
Total	1

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.10 Estimación de las Medidas de Preferencia de Localización o MPL para cada Alternativa de Localización Viable.

Finalmente se calcula la medida de preferencia de localización o MPL a partir de la siguiente expresión:

$$MPL = K[Fo_i] + [1 - K] \cdot [Fs_i]$$

Una vez que se conocen tanto los factores objetivos y subjetivos de localización se hace necesario asignarle una ponderación K a uno de los grupos de factores y $1 - K$ al otro.

Nota:

Si se considera que para este caso en particular los factores objetivos son Tres [3] veces más importantes que los subjetivos, se tiene que:

$$K = 3[1 - K]$$

Por lo que la ponderación K de los factores objetivos es de:

$$K = 0.75$$

Mientras que la de los factores subjetivos es de 0.25, tal y como se expone a continuación:

Tabla 25

Importancia Relativa para Cada Grupo de Factores

Ponderación [k]	0.75
Ponderación [1-k]	0.25

Fuente: Elaboración Propia.

De este modo es posible resumir los datos evaluados, así:

Tabla 26

Resumen de los Valores de los Factores Objetivos y Subjetivos de Localización

Tabla Resumen de los Factores Relevantes					
Fo[A]	Fo[B]	Fo[C]	Fs[A]	Fs[B]	Fs[C]
0,337	0,333	0,330	0,233	0,420	0,346

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.11 Estimación de las Medidas de Preferencia de Localización O MPL para cada posible Alternativa de Emplazamiento.

Finalmente las medidas de preferencia de localización o MPL para cada posible alternativa de localización viable son:

Tabla 27

Medidas de Preferencia de Localización [MPL] Resultantes del Análisis Brown y Gibson

Medidas de Preferencia de Localización	
MPL.[A]	0,31
MPL.[B]	0,35
MPL.[C]	0,33
Total	1

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.12 Resultados Obtenidos del Análisis de Localización.

De acuerdo con los resultados obtenidos a través del método Brown y Gibson, la alternativa de emplazamiento más adecuada para el proyecto es la localización [B], es decir ubicar la planta de procesamiento de leche en polvo en la zona de influencia de la ciudad de Montería, específicamente en la carretera Troncal Km 12 vía a Planeta Rica, debido a que obtuvo la mayor medida de preferencia de localización respecto a las otras opciones consideradas, con un valor de MPL máxima de 0,35. Sin embargo se procederá a validar los resultados obtenidos a partir del análisis desarrollado a través del modelo de localización utilizado en función a la información contenida en la última Encuesta Nacional Agropecuaria desarrollada por el Departamento Nacional de Estadística DANE, con el fin de corroborar la disponibilidad diaria de leche cruda en este departamento para poder cubrir los requerimientos mínimos de producción por jornada de trabajo en el esquema de planta diseñado.

5.2.1.13 Validación de los resultados obtenidos.

Para corroborar cuan apropiados son los resultados obtenidos a partir del enfoque analítico del modelo de localización Brown y Gibson, se procederá a considerar el nivel de producción de leche fresca por departamento y la orientación del inventario del ganado vacuno

de acuerdo con la intención del productor según la última Encuesta Nacional Agropecuaria desarrollada por el Departamento Nacional de Estadística DANE, obtenida el día anterior a la entrevista, por destino hasta el año 2016, con lo que será posible contar con una mayor cantidad de elementos de juicio de carácter objetivo, que permitan tener un óptimo enfoque para la toma de una decisión apropiada que finalmente permita ubicar de forma segura la planta propuesta en este proyecto sin dejar ningún tipo de aspecto suelto que puedan posteriormente ser objeto de discusión.

Tabla 28

Producción de Leche Obtenida en un Día en los Departamentos Considerados en el Análisis

Departamento	Cantidad de leche Disponible para la Venta [Miles de Litros]
Sucre	383,177
Córdoba	612,764
Bolívar	475,207

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria [ENA].

Tabla 29

Inventario de Ganado Vacuno por Orientación en los Departamentos Considerados

Departamento	Orientación del Registro Ganadero de acuerdo con la Intención del Productor [Miles de Cabezas]		
	Sistemas Especializados	Sistemas de Doble Propósito	Total
Sucre	74,260	653,543	727,803
Córdoba	136,729	895,572	1.032,300
Bolívar	82,160	672,078	754,238

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria [ENA].

5.2.1.14 Conclusión del Análisis de Localización.

De acuerdo con las estadísticas suministradas por el DANE, es posible concluir que el departamento de Córdoba cuenta con la suficiente capacidad diaria para suplir los requerimientos de demanda de leche fresca que el esquema productivo precisa por jornada para sintetizar los

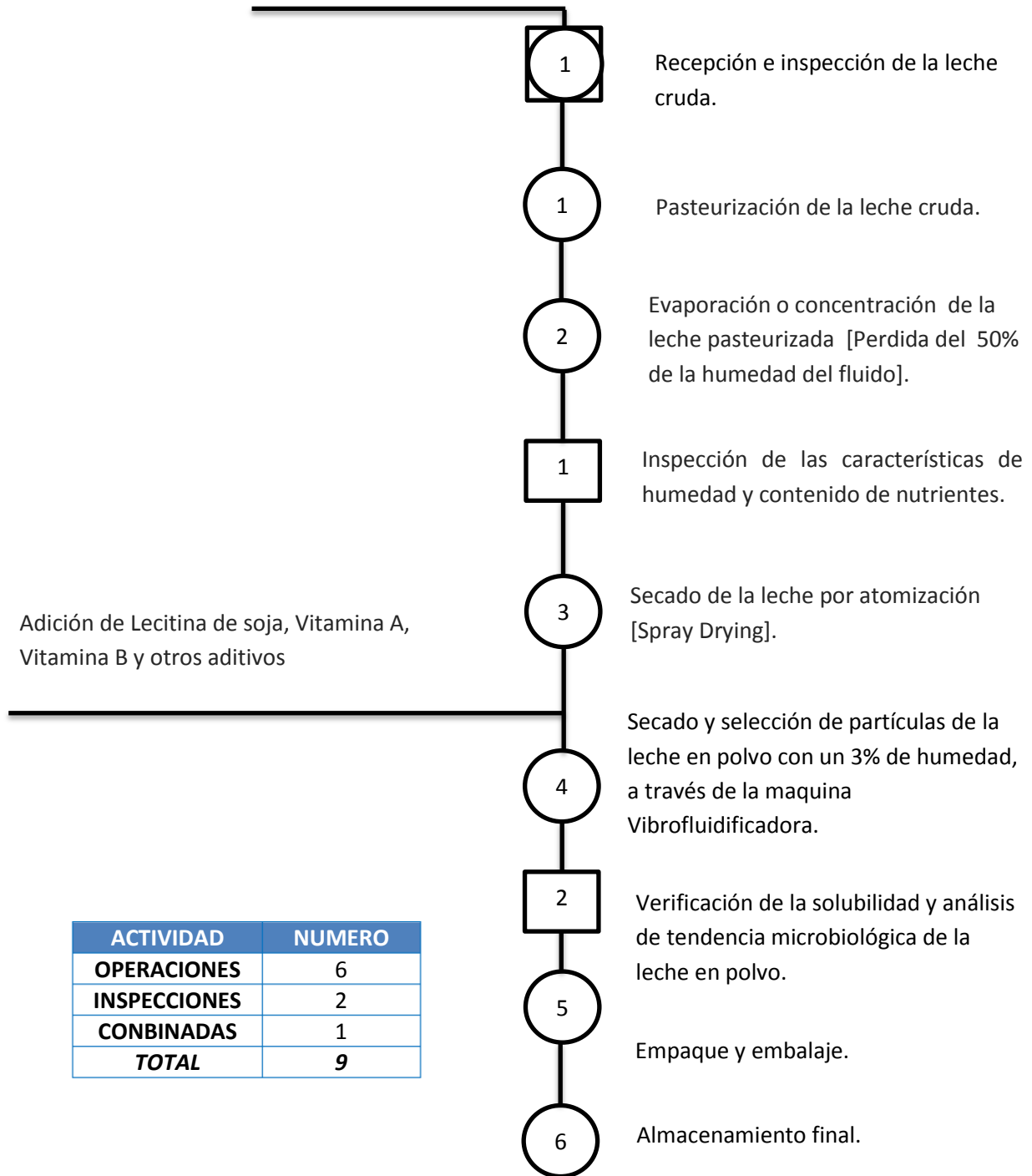
6000 Kgrs de leche en polvo que se demandan producir al día en la industria propuesta, debido a que los resultados expuestos en la Encuesta Nacional Agropecuaria [ENA], muestran al igual que los resultados del modelo de localización empleado, que la ciudad de Montería [Córdoba] expone las mejores condiciones para ubicar la planta, de acuerdo con los intereses del equipo de diseño respecto a las otras dos potenciales opciones de localización consideradas. En este orden de ideas y atendiendo las pautas establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial [POT] del municipio de Montería, en su apartado de condiciones de localización para usos industriales y agroindustriales, se decidió ubicar la planta propuesta en la carretera Troncal Km 12 vía a Planeta Rica, debido a que de acuerdo con lo consignado en este documento las industrias de estas características deben ser localizadas sobre los Corredores de Servicio Regional o Corredores Industriales, atendiendo a los impactos que estas actividades puedan generar, y cumpliendo con el siguiente grupo de condiciones mínimas para su correcta localización y funcionamiento:

- Desarrollo de procesos productivos con aplicación de reconversión industrial y producción limpia.
- Minimización y reutilización del recurso hídrico.
- Establecimiento de captaciones de aguas debajo de la fuente receptora de vertimientos y dentro de la zona de mezcla.
- Establecimiento de una zona de aislamiento ambiental de por lo menos diez [10] metros sobre los predios vecinos.
- Disponibilidad inmediata de servicios públicos.
- Construcción de áreas para saneamiento ambiental y facilidades de drenaje de aguas lluvias, donde cada industria establecida realizará, de manera individual, el tratamiento de sus aguas residuales industriales antes de ser vertidas al receptor final.
- Disponibilidad de un sistema vial interno, el cual será construido por las industrias que allí se establezcan. Donde las áreas para maniobras de vehículos de carga y las cuotas de estacionamientos destinados al correcto funcionamiento del uso, incluyendo las normas de operación de cargue y descargue, deberán realizarse al interior de los predios que conformen la unidad mínima de actuación, parque, agrupación o conjunto industrial.

5.3 Caracterización del Proceso Productivo

El diseño del proceso productivo especifica cómo se desarrollan las actividades que la industria debe realizar, con el propósito de suplir las necesidades del mercado utilizando las características de un esquema o función de la producción en específico. En virtud de ello, el esquema de distribución en planta propuesto en el presente proyecto se modelará de acuerdo con las características técnicas de una función de la producción de tipo continuo en el que el producto lácteo en el flujo de producción sigue la misma secuencia de operaciones hasta su empaquetado y embalaje, y donde la secuencia de fabricación o de las operaciones de transformación requeridas por el producto determinan la distribución en planta de la fábrica. En ella existe una relación estrecha entre las diversas etapas del proceso de transformación y un uso intenso de equipos automatizados que se colocan de manera que el producto siempre siga la misma ruta a través de toda la planta; en consecuencia de esto para poder entender la secuencia de tareas que determinaran la distribución por producto propuesta en este informe, a continuación se describirán cada una de las operaciones implicadas en la transformación del flujo lácteo hasta la obtención de un producto alimenticio totalmente deshidratado y de alto contenido nutricional en función a los diagramas de operaciones y de flujo de procesos, asociados a la síntesis y obtención de leche en polvo entera.

 Leche Entera en Polvo. Whole Milk Powder. Enriquecida con Calcio y Vitaminas A Y D.	Figura 6 Diagrama de Operaciones de la Leche Entera en Polvo	Versión N° 01
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------	----------------------



ACTIVIDAD	NUMERO
OPERACIONES	6
INSPECCIONES	2
CONBINADAS	1
TOTAL	9

5.3.1 Descripción de las Operaciones que Intervienen en el Proceso de Producción de la Leche en Polvo Entera.

En siguiente apartado se describirá brevemente cada una de las operaciones desarrolladas durante el proceso de elaboración de la leche entera en polvo, en concordancia con lo planteado en el diagrama de procesos expuesto con antelación.

5.3.1.1 Proceso de Recepción e Inspección de la Leche Cruda.

En la primera etapa de recepción se realiza la descarga de la leche cruda por medio de la fuerza de gravedad, utilizando un plano inclinado de 25 grados, lo que permite hacer el proceso de descargue de la leche en un tiempo aproximado de 20 minutos. Posteriormente, se ejecuta la etapa de inspección de la leche en cruda, la cual se convierte en una etapa fundamental y crítica del proceso productivo de la leche deshidratada, en ella es esencial observar ciertas características organolépticas como lo es el color, el olor y la textura, así como también ciertos lineamientos básicos como la temperatura de llegada, con el objeto de garantizar no solo la calidad de la principal materia prima, sino también para validar la posibilidad de hallar potenciales riesgos que pueden afectar la inocuidad del producto ofrecido.

5.3.1.2 Pasteurización de la Leche Cruda.

Una vez terminado el proceso de descargue e inspección de la leche cruda, es necesario eliminar los microorganismos patógenos presentes para asegurar la inocuidad de este insumo. Con este fin, la leche cruda se somete al proceso de pasteurización, el cual consiste en un tratamiento térmico al que se somete la leche, consistente en una relación de temperatura y tiempo que garantice la destrucción de los organismos patógenos.

5.3.1.3 Evaporación o Concentración de la Leche Pasteurizada.

En esta etapa se procede a implementar un proceso de evaporación en condiciones de vacío, a bajas temperaturas, lo cual permite retirar el 50% de humedad de la leche, permitiéndole conservar sus propiedades nutricionales.

5.3.1.4 Inspección de las Características de Humedad y Contenido de Nutrientes.

Esta etapa del proceso consiste en inspeccionar el concentrado de leche, con el fin de validar el cumplimiento de las especificaciones de humedad y contenido de nutrientes necesarios para cumplir con las características del producto.

5.3.1.5 Secado de la Leche por Atomización [Spray Drying].

Esta operación consiste en la deshidratación de la leche por atomización o Spray Drying, la cual se obtiene por medio de una pulverización de la leche concentrada en forma de gotas muy pequeñas de tamaño que oscilan entre los 0,2 a 0,3 mm, en el interior de una torre de atomización en donde circula una corriente de aire caliente (190°C a 200°C) en paralelo y en sentido opuesto a la trayectoria de las gotas de leche concentrada que ingresan a la máquina, esta corriente de aire caliente transfiere el calor necesario para que las gotas de leche puedan evaporar el agua que contiene, dejando la leche solamente con un 3% de humedad.

5.3.1.6 Secado y Selección de Partículas a través de la Máquina Vibrofluidificadora.

Esta etapa de proceso se realiza a través de un vibrofluidificador, el cual permite proceder a ejecutar una operación complementaria de secado y selección de partículas de leche en polvo, esta herramienta proporciona mayor control sobre la granulometría del polvo producido.

5.3.1.7 Verificación de la Solubilidad y Análisis de Tendencia Microbiológica de la Leche en Polvo.

Una vez finalizado el proceso productivo de la leche en polvo o deshidratada, se procede a realizar una verificación de solubilidad [Capacidad de la leche deshidratada para disolverse al mezclarse con un líquido], el cual tiene un tiempo de disolución no mayor a 20 segundos, además de esto se procede a ejecutar una inspección final con el objeto de garantizar la inocuidad y la calidad del producto de la compañía.

5.3.1.8 Empaque y Embalaje.

En esta operación se realiza el proceso de empaque de la leche en polvo, en presentaciones de bolsas flexibles y esterilizables de 1000 gr, cuyas dimensiones son de 20 centímetros de ancho por 30 centímetros de alto, las cuales están conformadas por una combinación de aluminio y plástico que brindan las ventajas necesarias para la preservación del alimento. Posteriormente, se procede al embalaje del producto final en cajas de cartón corrugado, para su posterior almacenamiento y distribución.

5.3.1.9 Almacenamiento Final.

Una vez finalizado el proceso de empaque y embalaje, se procede a trasladar el producto terminado, al área de almacenamiento fin

5.3.2 Simbología Utilizada en las Operaciones Realizadas para la Elaboración de la Leche Entera en Polvo.

Para la elaboración y construcción del diagrama de flujo de procesos, se hace preciso emplear diferentes tipos de tareas las cuales están representadas por una serie de figuras establecidas. A continuación se pueden observar de forma tabulada la simbología utilizada en los diferentes tipos de operaciones realizadas en el proceso de elaboración de la leche en polvo entera.

Tabla 30

Simbología Empleada para el Desarrollo del Diagrama de Flujo de Procesos























Icono	Tipo de Tarea
	Tarea de valor añadido.
	Desplazamiento.
	Demora o espera.
	Inspección.
	Almacenamiento.

Fuente: Meyers, F., y Stephens, M. (2006).

5.3.3 Diagrama de Flujo de Procesos de la Elaboración de la Leche en Polvo Entera.

Tabla 31

Diagrama de Flujo de Procesos para la Producción de Leche en Polvo Entera

DIAGRAMA DE PROCESOS							
TAREA:	PROCESO PRODUCTIVO DE LA LECHE EN POLVO.	EMPRESA:	VIDA LECHE ENTERA POLVO	 Leche Entera en Polvo. Whole Milk Powder. Enriquecida con Calcio y Vitaminas A Y D.			
FECHA:	20/04/2017	PROCESO:	01/39A00				
ANALISTAS:	GRUPO DE TRABAJO	ÁREA:	PRODUCCIÓN				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN		SÍMBOLOS					
							TIEMPO [Min]
Recepción del camión con la carga de leche cruda.							-
Inspección de las condiciones organolépticas de la leche cruda							10
Protocolo de descarga de la leche cruda en un silo de almacenamiento							60
Proceso de preparación o tiempo Set-up de las máquinas implicadas en la línea de producción							50
Proceso de pasteurización de la leche cruda							144
Almacenaje intermedio de la leche previamente pasteurizada							-
Evaporación o concentración de la leche pasteurizada [Pérdida del 50% de la humedad de la leche].							148,75
Almacenaje intermedio de la leche concentrada							-
Desarrollo del proceso de inspección de las características de humedad y contenido de nutrientes de la leche.							10
Proceso de secado de la leche por atomización [Spray Drying].							120
Secado y selección de partículas de la leche en polvo a través de la máquina Vibrofluidificadora.							156,52
Almacenaje intermedio de la leche deshidratada							-
Verificación de la solubilidad y análisis de tendencia microbiológica de la leche en polvo.							10
Proceso de empaque y embalaje de las bolsas de película flexible de 1 kgr							100
Proceso de paletizado de las cajas de cartón corrugado Kraft de 10 kgr							17,14
Transporte de la leche empacada y embalada hacia almacén de producto final.							
Almacenamiento de producto final.							

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.4 Diagrama de Bloques del Proceso de Producción de la Leche Entera en Polvo.

En este apartado se expone de manera pictórica las etapas principales del proceso productivo de la fabricación de la leche en polvo entera, para lo cual se consideran los siguientes diagramas que muestran de forma secuencial las diferentes fases de proceso de elaboración de este producto.

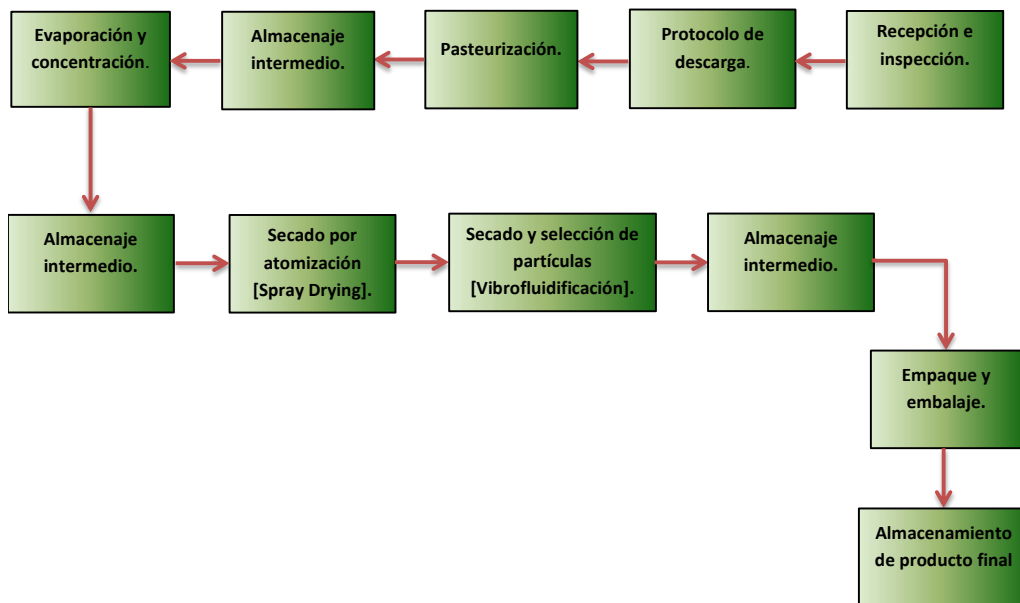


Figura 7 Diagrama de Bloques del Proceso del Pulverización de la Leche
Fuente: Elaboración Propia.

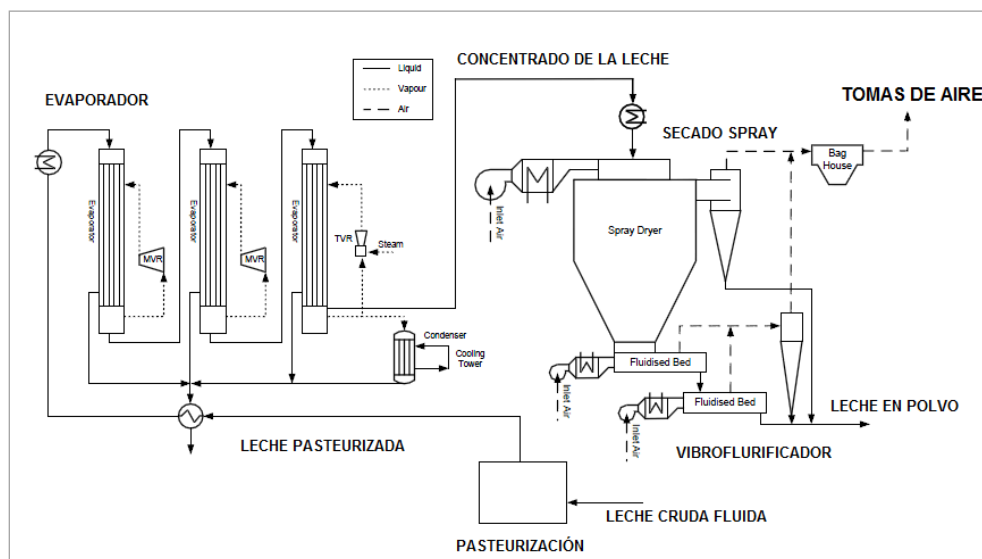


Figura 8 Diagrama Esquemático del Proceso Productivo y de los Equipos Implicados en la Fabricación de la Leche en Polvo

Fuente: Elaboración Propia.

5.4 Determinación de los Requerimientos de las Áreas de Almacenamiento

Con el fin de dimensionar las características técnicas del almacén de productos terminados, considere en primer lugar que de acuerdo con el análisis desarrollado en el capítulo 3, la industria productora que se está diseñando tiene proyectada una capacidad instalada de 1780 toneladas de leche en polvo al año, valor que coincide con el 35.47% del total de la demanda promedio anual a nivel nacional, estimada en función de los datos contenidos en las tablas claves de pronósticos del Informe de Perspectivas Agrícolas desarrollado en un esfuerzo conjunto por la OCDE y la FAO. Además téngase en cuenta que en la planta se cumplirán 2 jornadas de trabajo al día de 8 horas cada una, con el fin de poder cumplir en el periodo de un año con las metas trazadas de producción con los recursos con los que cuenta la fábrica. considere también que se tomará como referencia los 299 días laborales del presente año correspondientes al esquema laboral de lunes a sábado, para estimar el valor de la capacidad diaria que debe tener la fábrica para poder cumplir al final del año con la meta inicialmente trazada, además considere que de acuerdo con las políticas de la fábrica y los requerimientos de demanda de sus clientes, el equipo directivo de la organización ha planificado almacenar sus productos procesados en su moderna bodega por el periodo de producción de 6 días, para posteriormente distribuir la cantidad

producida en dicha semana y entregarla al séptimo día a sus respectivos clientes. En virtud de ello a continuación se expone el análisis matemático empleado para determinar los requerimientos de las áreas de almacenamiento.

Sea,

$C = \text{Capacidad anual de la fábrica.}$

$$C = \frac{1780 \text{ Tons}}{\text{Año}}$$

O bien,

$$C = \frac{1780 \ 000 \ \text{Kgr}}{\text{Año}}$$

Sea,

$T = \text{Número de días de actividad productiva anual de la industria.}$

$$T = \frac{299 \ \text{Días}}{\text{Año}}$$

Sea,

$P = \text{Capacidad productiva diaria de la fábrica}$

$$P = \frac{C}{T}$$

$$P = \frac{\frac{1780 \ \text{Tons}}{\text{Año}}}{\frac{299 \ \text{Días}}{\text{Año}}}$$

$$P = \frac{5.953177258 \ \text{Tons}}{\text{Día}} \cong \frac{6 \ \text{Tons}}{\text{Día}}$$

Por lo tanto se concluye que para efectos prácticos, el equipo laboral de la planta se propone producir diariamente $\frac{6 \text{ Tons}}{\text{Día}}$, es decir, 6000 Kgr de leche en polvo totalmente deshidratadas al día. De igual forma es importante señalar también en este punto del análisis que la presentación comercial del producto ofrecido por la empresa está constituido por modernas bolsas flexibles de material laminado, cuyas dimensiones son de 30 cm de altura incluidos los bordes inferiores y superiores de la solapa de sellado, 20 cm de ancho y 6 cm de espesor. Dichas bolsas serán ubicadas en grupos de 10 unidades en cajas de cartón corrugado kraft con ondulaciones o flautas tipo A, las cuales ofrecen una resistencia superior a la compresión vertical, [Considere la siguiente imagen ilustrativa de las cajas empleadas en el esquema productivo].

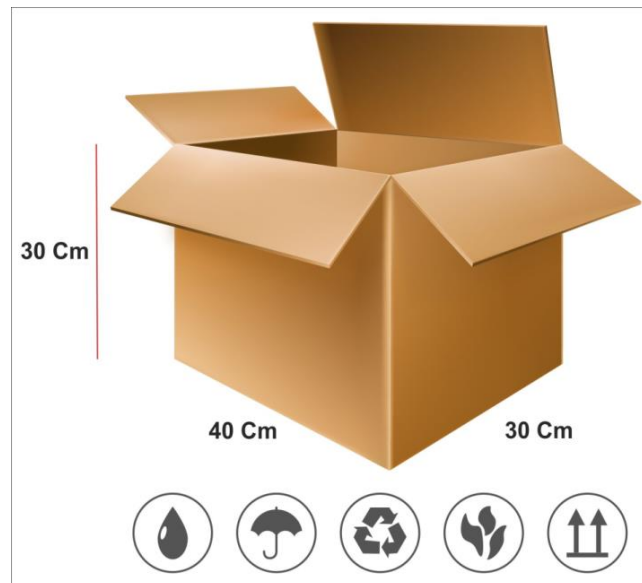


Figura 9 Dimensiones de la Caja Empleada en el Esquema Productivo

Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

Nótese que el volumen de las bolsas empleadas es de:

$$V_1 = [30 \text{ Cm} * 20 \text{ Cm} * 6 \text{ Cm}]$$

$$V_1 = 3600 \text{ Cm}^3$$

Por ende el volumen de las cajas de empleadas en la fábrica es de:

$$V_2 = [40 \text{ Cm} * 30 \text{ Cm} * 30 \text{ Cm}]$$

$$V_2 = 36000 \text{ Cm}^3$$

O bien,

$$V_2 = [V_1] * 10 \text{ Unds.}$$

$$V_2 = [3600 \text{ Cm}^3] * 10 \text{ Unds.}$$

$$V_2 = 36000 \text{ Cm}^3$$

Ahora bien, en concordancia con la información inicial, la capacidad diaria de producción de la fábrica coincide con el valor de $\frac{6 \text{ Tons}}{\text{Día}}$, es decir, 6000 Kgr diarios de leche procesada que serán empacados en bolsas de 1 Kgr y posteriormente serán embaladas en grupos de 10 unidades en las cajas anteriormente mostradas, por lo que al final del esquema productivo se deberán empacar 6000 bolsas que serán embaladas en 600 cajas de cartón al día y serán enviadas al almacén de la fábrica para su protección hasta el séptimo día en el cual serán entregadas a los clientes de la empresa.

En este sentido, considerando las medidas de la caja empleada y teniendo en cuenta que 1 m^3 equivale a 1000000 Cm^3 se tiene que el volumen que ocupa la caja en metros cúbicos es de:

$$V_2 = [40 \text{ Cm} * 30 \text{ Cm} * 30 \text{ Cm}] * \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ Cm}^3}$$

$$V_2 = [36000 \text{ Cm}^3] * \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ Cm}^3}$$

$$V_2 = 0.036 \text{ m}^3$$

Luego para estimar una noción preliminar del volumen de la bodega se debe multiplicar el volumen de la caja del producto empacado tanto por la cantidad de unidades a fabricar por día

como por el número de días de almacenamiento acordado antes de efectuar las entregas, por lo que se tiene la siguiente relación:

Sea $V_4 = \text{Volumen de almacenamiento preliminar}$,

$$V_4 = [0.036 \text{ m}^3] * 600 * 6$$

$$V_4 = 129.6 \text{ m}^3 + [\text{El volumen de las plataformas de paletizado empleadas}]$$

Posteriormente considere que de acuerdo con el estándar de paletizado usualmente empleado, una de las configuraciones o patrones más prácticamente recomendadas es la que se expone a continuación:

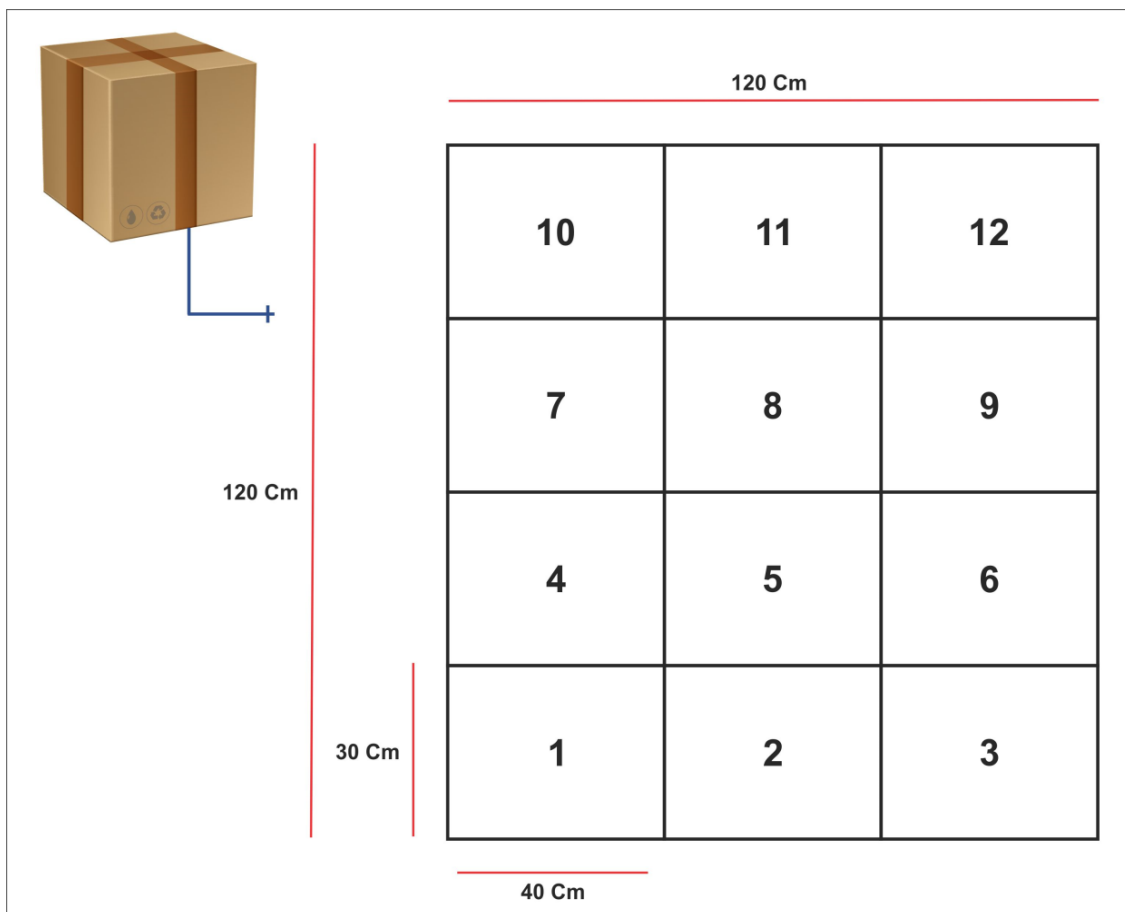



Figura 10 Configuración de la Estiba Empleada para el Almacenamiento de los Productos Terminados
 Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

De donde se concluye la siguiente información:

Tabla 32

Especificaciones Técnicas de la Estiba de Almacenamiento

Patrón de la Plataforma	Entidad	Valor
	Número de Hileras:	6.
	Cajas por Hileras:	12.
	Número Total de Cajas en la Plataforma:	72.

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con esta configuración y teniendo en cuenta los requerimiento de almacenamiento precisados por el personal de la empresa, se procederá a emplear una plataforma o pallet estándar de 48 pulgadas de largo por 48 pulgadas de ancho y 6 pulgadas de espesor, es decir, de $[121.92 \text{ Cm} \times 121.92 \text{ Cm} \times 15.24 \text{ Cm}]$ con un peso promedio de 52.9 libras o 24 Kgr y un porcentaje de utilización del área efectiva de la plataforma del 97%, tal y como se muestra a continuación:

Área ocupada por la configuración de cajas.

$$A_1 = 120 \text{ Cm} * 120 \text{ Cm}$$

$$A_1 = 14400 \text{ Cm}^2$$

Área efectiva del pallet.

$$A_2 = 121.92 \text{ Cm} * 121.92 \text{ Cm}$$

$$A_2 = 14864.48 \text{ Cm}^2$$

Por lo tanto el porcentaje de utilización de la plataforma es de:

$$\% Utilización = \frac{A_1}{A_2} \times 100$$

$$\% Utilización = \frac{14400 \text{ Cm}^2}{14864.48 \text{ Cm}^2} \times 100$$

$$\% Utilización = [0.96875] \times 100$$

$$\% Utilización = 96.875 \%$$

Por lo que se concluye que el porcentaje de utilización de la plataforma es de 97 % lo cual corresponde con un uso adecuado de este importante dispositivo.

$$\% Utilización \cong 97 \%$$

Es importante saber también cuál es el peso total de la configuración dispuesta de las cajas incluido el peso mismo de la plataforma y la suma total de los pesos de las cajas vacías, debido a que el total de estos valores será fundamental para decidir tanto que tipo de maquinaria de carga que deberá adquirir la planta para desarrollar adecuadamente la movilización y ubicación de los productos, como para determinar la tolerancia de los Racks frente a la acción de las cargas colocadas en el proceso de organización de la bodega; estas decisiones son claves debido a que tendrán repercusiones tanto en la configuración o disposición de los elementos del almacén, debido a que son estos los que determinan tanto el ancho de los pasillos para la adecuada libertad de movilidad de los montacargas, como también determina la altura misma de la bodega por efectos de la cota del estante que ha de emplear la empresa para la gestión de su inventario, por lo que es importante considerar los siguientes factores:

Tabla 33

Descripción Técnica del Peso Total de la Estiba

Peso de la Configuración Propuesta		
Factor de peso	Notación	Valor [Kgr.]
Peso del contenido de las 72 cajas paletizadas	W_1	720
Peso promedio del pallet empleado.	W_2	24
Peso de una caja vacía.	W_3	0.4535
Peso total de las 72 cajas vacías.	W_4	32,652
Peso total del arreglo considerado.	W_T	776,65

Fuente: Elaboración Propia

De este modo considerando el peso total de la configuración de la carga estandarizada, que se manejará en el almacén de la planta productora de leche en polvo, el cual coincide con el valor de 776,65 Kgr, es posible sugerir el tipo de montacargas que se empleará para realizar tanto el desplazamiento como la ubicación de cada uno de los pallets cargados, en las respectivas estanterías de los Racks que serán ubicados en la bodega de productos terminados. El montacargas empleado precisa de un rango mínimo de anchura de pasillo de 5 Ft. 4” a 6 Ft. 4” o [1,64 m a 1,95 m.] para poder circular, por lo que este dato será fundamental para estimar el espacio adecuado que se debe dejar entre los dispositivos de almacenamiento de la bodega de acuerdo con los intereses de los directivos de la empresa. [Considere que las características del tipo de montacargas empleado en la fábrica serán descritas en detalle al final del presente apartado].

Posteriormente considerando la distribución expuesta en el patrón de paletizado graficado con anterioridad y teniendo en cuenta tanto las longitudes de la plataforma y la altura de las 6 hileras de cajas de 30 Cm de altura cada una, se tiene que la configuración final de estiba para desarrollar las tareas de almacenamiento y protección del producto terminado posee las características técnicas expuestas en la siguiente ilustración:

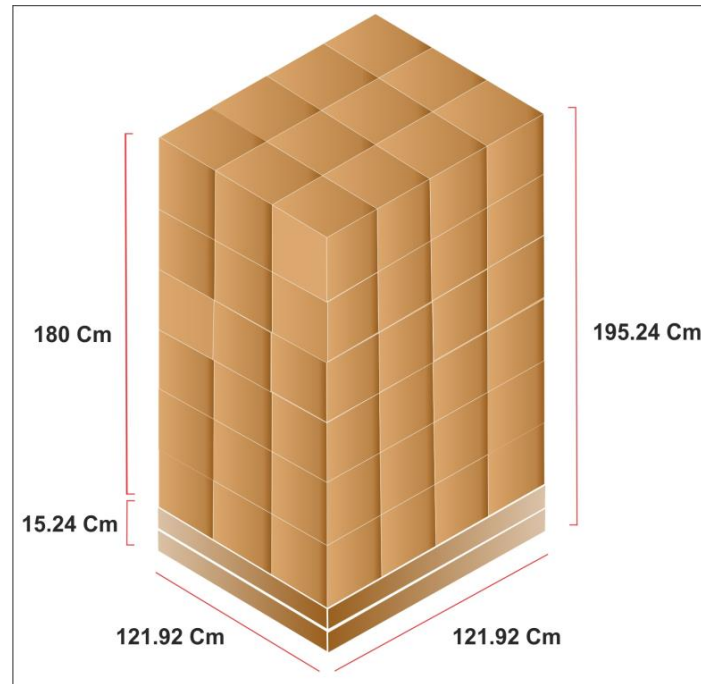


Figura 11 dimensiones de la configuración paletizada empleada
Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

En este orden de ideas y con esta información es posible calcular el volumen total del patrón de paletizado adoptado por el equipo de trabajo para organizar el inventario de productos terminados tal y como se expone a continuación:

$$V_4 = [121.92 \text{ Cm} * 121.92 \text{ Cm} * 195.24 \text{ Cm}] * \frac{1m^3}{1000000 \text{ Cm}^3}$$

$$V_4 = [2902142.325 \text{ Cm}^3] * \frac{1m^3}{1000000 \text{ Cm}^3}$$

Por lo tanto el volumen ocupado por plataforma es,

$$V_4 = 2.902142 \text{ m}^3$$

También es importante destacar el hecho de que para cada plataforma se configuran 72 cajas correctamente colocadas, de modo que para saber cuántas plataformas se necesita para organizar el esquema del almacén, se debe de considerar el hecho de que por día se producirán

600 cajas de 10 Kgr de leche en polvo, y que estas cajas serán almacenadas por 6 días en la bodega antes de ser entregadas a los clientes, por ende se tienen las siguientes relaciones:

Sea $N_1 =$ *Cantidad de cajas almacenadas por semana en la bodega.*

$$N_1 = \frac{600 \text{ Cajas}}{\text{Día}} \times \frac{6 \text{ Días}}{\text{Semana}}$$

$$N_1 = 3600 \frac{\text{Cajas}}{\text{Semana}}$$

Sea

$N_2 =$ *Palets requeridos para almacenar las 3600 cajas producidas semanalmente.*

$$N_2 = \frac{N_1}{\text{Numero de cajas por palet}}$$

$$N_2 = \frac{\frac{3600 \text{ Cajas}}{\text{Semana}}}{\frac{72 \text{ Cajas}}{\text{Palet}}}$$

$$N_2 = 50 \frac{\text{Palets}}{\text{Semana}}$$

Por lo tanto se concluye que se requieren 50 pallets, los cuales estarán totalmente ocupados con 72 cajas cada uno de acuerdo al patrón propuesto; de este modo es posible almacenar las 3600 cajas de 10 Kgrs de leche procesadas en 6 días, las cuales serán ubicadas en 2 Racks adecuados para pallets, que cuentan con las dimensiones y la capacidad para alojar hasta 30 plataformas cada uno, respetando el esquema de paletizado propuesto en este apartado. [A continuación considere el siguiente esquema ilustrativo y la tabla de las características técnicas de los Racks empleados para organizar la mercancía].

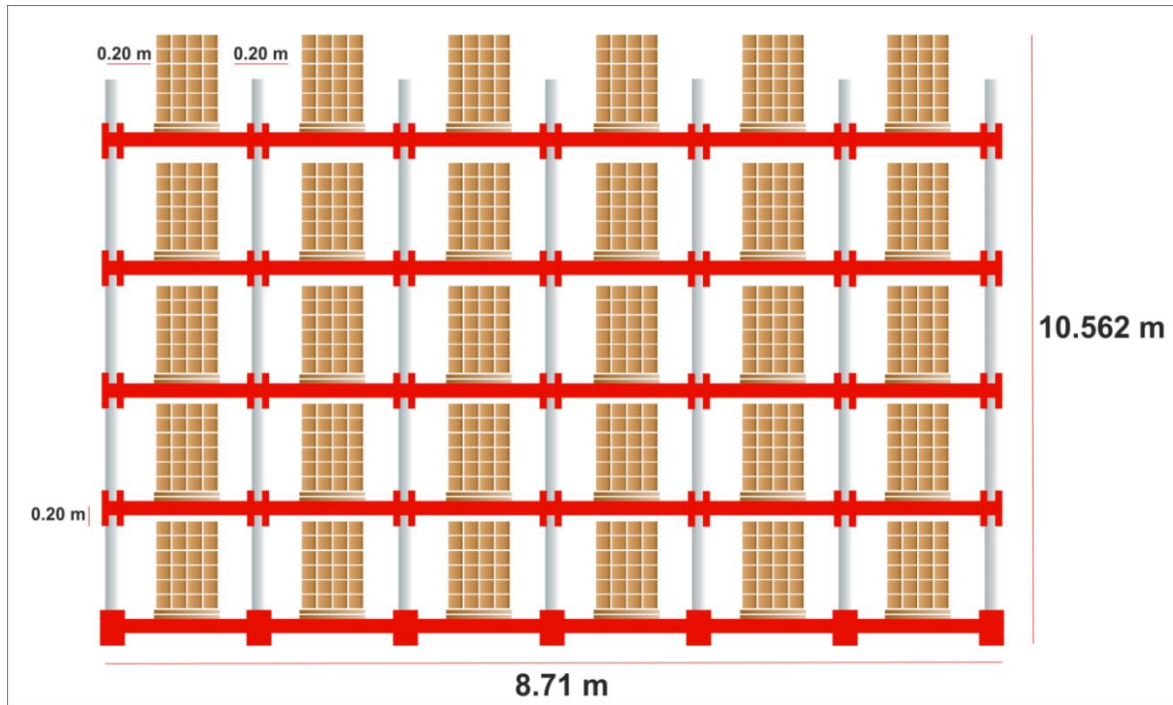


Figura 12 Diagrama Pictórico de la Configuración del Rack Empleados en el Área de Almacenamiento
Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

Tabla 34

Características Técnicas del Rack Selectivo Utilizado

Detalles Técnicos del Rack Selectivo	
Fabricante	Alfa Racks S.A
Tipo de estructura.	Estructura de vigas y columnas selectiva.
Material de construcción.	Metal.
Tipo de ensamble.	Garras de sujeción.
Numero de bahías.	6.
Numero de niveles.	5.
Espacio de holgura entre niveles.	0.20 m.
Espacio de holgura lateral	0.20 m
Altura total del arreglo.	10.562 m.

Fuente: Alfa Rack S.A. www.alfarack.com.ar.

5.4.1 Área de la Bodega de Almacenamiento.

Teniendo en cuenta la suma de las longitudes de los elementos del almacén anteriormente calculadas e ilustradas en el siguiente diagrama pictórico en el que se expone la configuración esquemática aislada tanto de los elementos empleados en la bodega como los espacios requeridos para la circulación de los montacargas empleados en el almacén, es posible estimar el área requerida para las tareas desarrolladas en el stock de productos terminados tal y como se expone a continuación:

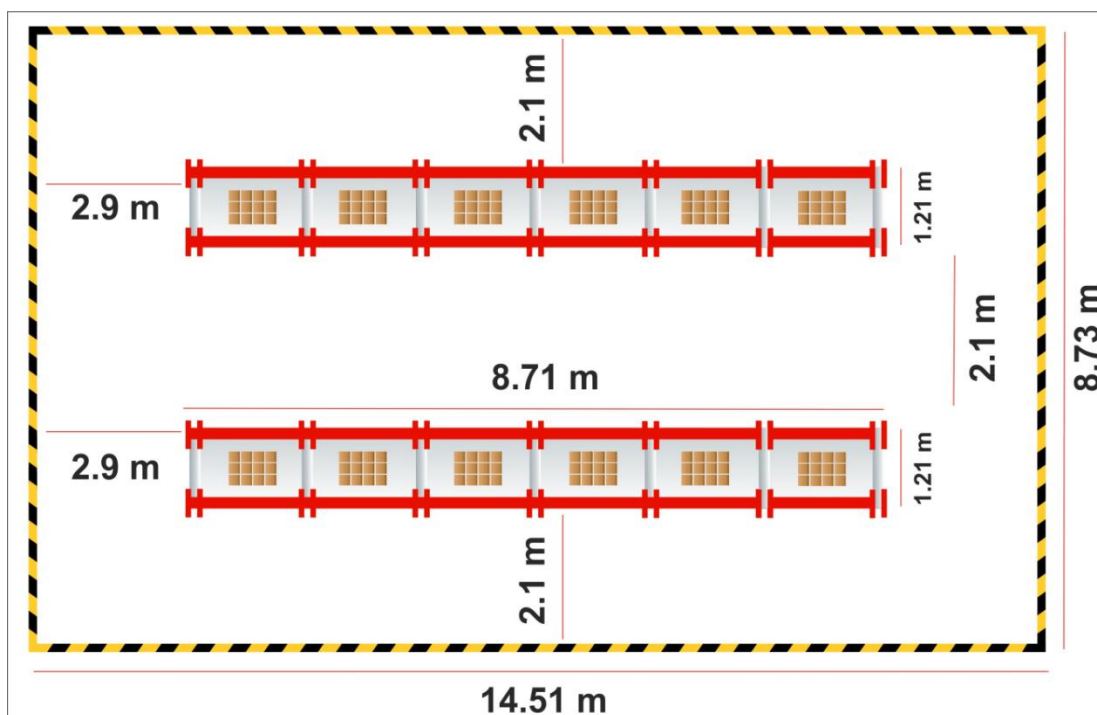


Figura 13 Dimensiones del Área de Almacenamiento
Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

Primero que todo considere que el área de la zona de almacenamiento está dada por la siguiente expresión:

$$Area_{Bodega} = Largo \times Ancho$$

Donde se sabe que el largo está dado por las siguientes medidas:

$$Largo = [Anchura \ de \ pasillo \ inferior \ mas \ superior] + [Longitud \ estimada \ del \ Rack]$$

$$Largo = [2.9 * 2] + [8.71]$$

$$Largo = 14.51 m$$

Mientras que el Ancho coincide con los siguientes valores:

$$Ancho = [3 \text{ Veces la anchura de pasillo estimada}] + [2 \text{ Veces la anchura del rack.}]$$

$$Ancho = [2.1 m * 3] + [1.2192 m * 2]$$

$$Ancho = 8.7384 m$$

$$Area_{Bodega} = 14.51 m * 8.7384 m$$

Por lo tanto,

$$Area_{Bodega} = 126.79 m^2$$

De este modo se concluye que el área estimada para la zona de almacenamiento de productos terminados del presente esquema productivo es de $126.79 m^2$.

5.4.2 Altura Mínima Requerida del Almacén en Función de la Cota de los Racks.

Para tener una idea inicial de la altura mínima de la zona de almacenamiento en función de la altura de los Racks empleados considere las siguientes expresiones:

$$H = [Altura total del palet * 5] + [Espacio entre niveles * 4]$$

$$H = [[1.9524 m] * 5] + [[0.20 m] * 4]$$

$$H = 10.562 m.$$


Por lo tanto se concluye que en función a los cálculos desarrollados con antelación, la altura mínima recomendada para el área de la bodega es de 13 metros, con el propósito de que no se vean afectadas en modo alguno las tareas desarrolladas en el proceso de organización y gestión del inventario de los productos terminados en la planta de tratamiento lácteo.

5.4.3 Características del Montacargas que Circulara por los Pasillos del Almacén.

Debido tanto al peso que se pretende levantar, como también a las preocupaciones de los directivos por la seguridad de los operarios y a las características mismas de la bodega y el equipo que se pretende emplear para la organización de las configuraciones paletizadas descritas con anterioridad, el equipo directivo de la empresa de leche en polvo decidió emplear uno de los más avanzados tipos de montacargas existentes hasta hoy día. Se trata fundamentalmente de los Turret Lift Truck o Montacargas de Torre Trilaterales, los cuales pueden operar en un espacio de mínimo de 5 Ft. 4” a 6 Ft. 4” o [1,64 m a 1,95 m.]. Además poseen una horquilla tipo pantógrafo que es capaz de girar lateralmente en ambas direcciones a razón de 90° lo cual permite al operario acceder a cualquiera de los niveles de la estructura metálica [Racks] diseñada para almacenar las mercancías paletizadas, además de esto el diseño de este tipo de montacargas le permite al operador ascender directamente y de la forma más segura posible con un carro porta-horquillas hasta la cota deseada con una excelente visibilidad para efectuar la manipulación de la carga de forma eficiente. [Considere el siguiente cuadro donde se resume las características técnicas del montacargas que circulara por los pasillos del almacén].

Tabla 35

Características Técnicas del Montacargas

Raymond 9600 Swing-Reach	
	Fabricante: Raymond Corporation.
	Tipo de montacargas: Turret [Torreta Trilateral].
	Tipo de horquilla: Swing Reach [Oscilante de 90°].
	Autonomía: Eléctrica.
	Voltaje de operación: 48 Voltios.
	Capacidad de carga: 3000 Lbs. o 1360,7 Kgr.
	Altura de elevación: 33 Ft. o 10,05 m.
	Anchura mínima de pasillo para circulación: 5 Ft. 4” o 1,64 m.
	Anchura mínima de pasillo para viraje: 6 Ft. 4” o 1,95 m.
	Velocidad máxima: 5,5 Mph o $\frac{8,85 \text{ Km}}{\text{Hora}}$

Fuente: Raymond Corporation. www.raymondcorp.com

5.4.4 Determinación de las Dimensiones del Silo de Almacenamiento de Leche Fluida.

Primero que todo considere que para tener una noción más clara de la capacidad que debe tener el silo de almacenamiento de leche fluida, se debe considerar el hecho de que la empresa tiene como meta propuesta la elaboración de 6 toneladas de leche en polvo diariamente, por lo que para estimar la cantidad de leche líquida necesaria para poder sintetizar los 6000 kilogramos de producto terminado, el equipo de diseño recurre a una relación que se mantiene en el proceso productivo de la leche en polvo entera a partir de leche cruda al 3% de grasa y a una densidad de 1.033 [Kg/Lts], la cual se expone a continuación:

- 1Kgr de leche en polvo equivale a 8 litros de leche fresca

Por lo tanto,

Si 1Kgr de leche en polvo → 8 Litros de leche fresca

Entonces 6000 Kgr leche en polvo → Volumen

Luego,

Volumen = 48000 Lts de leche fresca

O bien sea,

Volumen = 48 m³ Leche fresca

Por ende, para estimar las dimensiones del silo donde se depositará la leche cruda necesaria para el procesamiento y la fabricación de la leche en polvo, se tendrá en cuenta una característica denominada relación de esbeltez, la cual para efectos prácticos coincidirá con el valor de [1.8]. La esbeltez de las estructuras mecánicas es fundamentalmente una propiedad que relaciona la rigidez de la sección transversal de una pieza con su longitud total, la cual se caracteriza por ser un parámetro adimensional que interviene en el cálculo de las tensiones y predice las inestabilidades elásticas de las barras y otras estructuras. Además de esto para

nuestros cálculos también se considerara un volumen libre del 10% respecto a toda la capacidad volumétrica del silo con el fin de seguir las recomendaciones de seguridad establecidas para este tipo de contenedores. [Considere las siguientes ilustraciones].

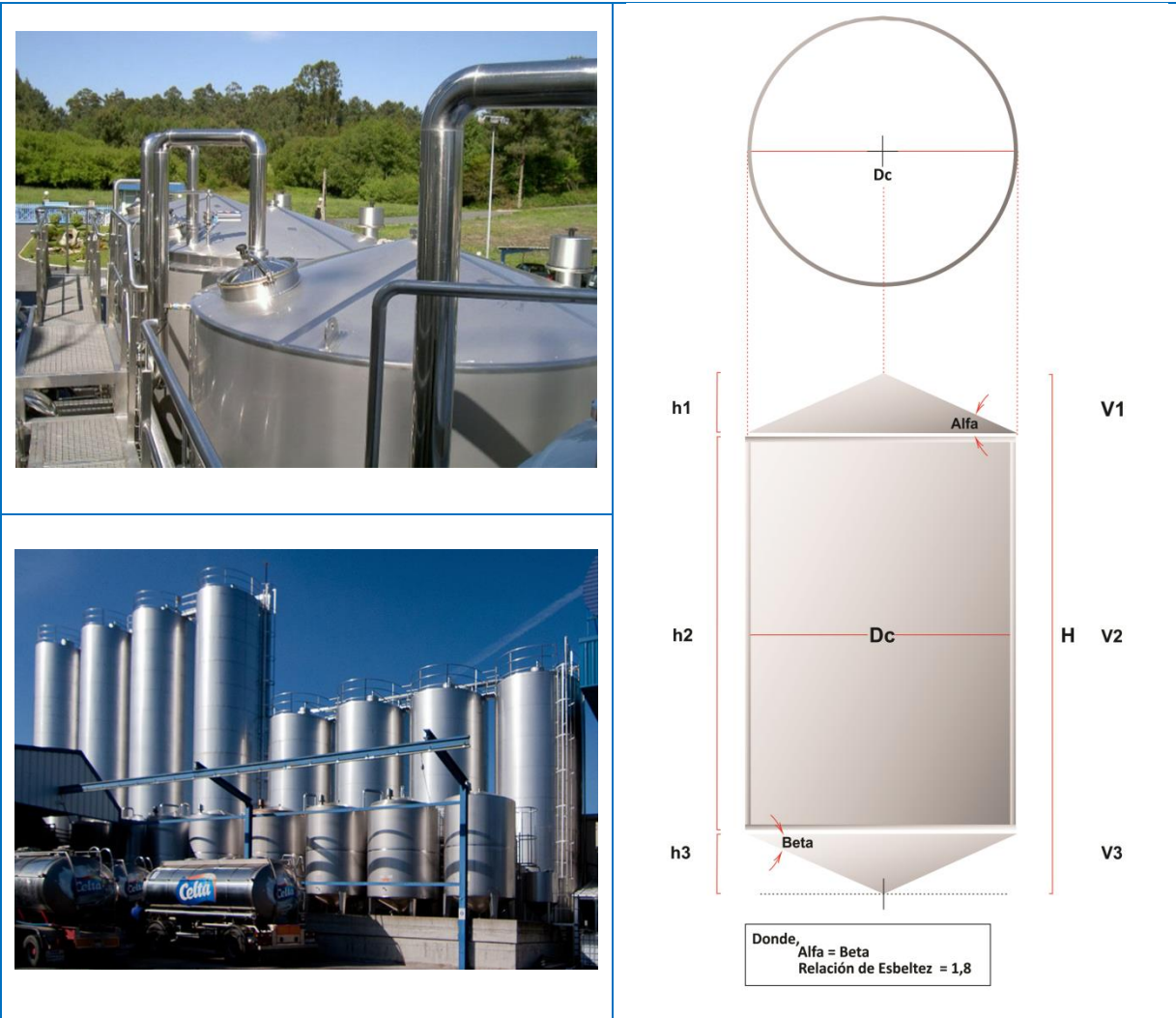


Figura 14 Especificaciones de Diseño del Silo de Leche Cruda
Fuente: Elaboración Propia.

Donde el parámetro e_1 corresponde a la relación de esbeltez,

$$e_1 = 1.8$$

Luego, sea V_E , el Volumen efectivo del silo,

$$V_E = 48000 \text{ Lts}$$

O bien,

$$V_E = 48 \text{ m}^3$$

Si se considera que el silo tendrá aproximadamente un 10% de volumen libre, entonces se tiene que el volumen total esperado del silo es de:

$$V_T = [V_E] + [V_E * 0.1]$$

$$V_T = [48 \text{ m}^3] + [48 \text{ m}^3 * 0.1]$$

$$V_T = 52.8 \text{ m}^3 \text{ Aproximadamente.}$$

Por otro lado, considerando que D_C , es el diámetro del cilindro considerado en el diseño,

$$D_C = 3.5 \text{ m}$$

Y que r_C , corresponde al radio del cilindro,

$$r_C = 1.75 \text{ m}$$

Es posible estimar la altura total del silo, sin considerar las secciones que lo constituyen, a partir de la realización de esbeltez,

$$H = e_1 * D_C$$

$$H = 1.8 * 3.5 \text{ m}$$

$$H = 6.3 \text{ m}$$

Ahora bien para estimar cada una de las cotas de las secciones que lo componen, a continuación se procederá a realizar una serie de cálculos basados en los principios de la trigonometría y la geometría en el plano.

Altura de la tolva superior [h_1],

$$[h_1] = \frac{D_C * [\tan \alpha]}{2}$$

Donde se sabe que $\alpha = 20^\circ$

$$[h_1] = \frac{3.5 \text{ m} * [\tan 20^\circ]}{2}$$

$$[h_1] = 0.63694791 \text{ m}$$

Luego, se sabe que $\alpha = \beta = 20^\circ$, por lo tanto:

$$[h_1] = [h_3] = 0.63694791 \text{ m}$$

Por otra parte, la altura del cilindro está dada por:

$$[h_2] = H - [h_1 + h_3]$$

$$[h_2] = 6.3 \text{ m} - [0.63694791 \text{ m} + 0.63694791 \text{ m}]$$

$$[h_2] = 5.02610418 \text{ m}$$

Ahora bien, con estos datos es posible estimar la capacidad volumétrica de cada sección que compone el silo:

$$V_1 = \frac{\pi * [\tan \alpha] * [D_C^3]}{24}$$

$$V_1 = \frac{\pi * [\tan 20^\circ] * [[3.5 \text{ m}]^3]}{24}$$

$$V_1 = 2.042719018 \text{ m}^3$$

O bien sea,

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi * [r^2] * [h_1]$$

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi * [[1.75 \text{ m}]^2] * [0.63694791 \text{ m}]$$

$$V_1 = 2.042719018 \text{ m}^3$$

Nótese que las secciones inferior y superior del contenedor comparten las mismas características geométricas, por lo tanto:

$$V_1 = V_3 = 2.042719018 \text{ m}^3$$

Por otra parte el volumen del cilindro V_2 se calcula fundamentalmente de la siguiente manera:

$$V_2 = \frac{\pi * [D_C]^2 * [h_2]}{4}$$

$$V_2 = \frac{\pi * [3.5]^2 * [5.02610418 \text{ m}]}{4}$$

$$V_2 = 48.35678915 \text{ m}^3$$

O bien sea,

$$V_2 = \pi * [r_C]^2 * [h_2]$$

$$V_2 = \pi * [1.75 \text{ m}]^2 * [5.02610418 \text{ m}]$$

$$V_2 = 48.35678915 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen total de todo el silo corresponde a la suma aritmética de cada una de las capacidades de las secciones involucradas en la estructura:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = [2.042719018 \text{ m}^3] + [48.35678915 \text{ m}^3] + [2.042719018 \text{ m}^3]$$

$$V_T = 52.44222719 \text{ m}^3$$

Ahora bien, nótese que el volumen obtenido a través del cálculo geométrico, es muy aproximado al volumen inicial estimado de 52.8 m^3 , derivado de la suma entre la cantidad volumétrica de leche cruda necesaria para la producción diaria, más el estimado del 10 % del volumen vacío del contenedor para efectos de seguridad, por lo que se concluye que los cálculos corresponden adecuadamente con la estructura inicialmente propuesta; con relación de esbeltez igual a 1.8.

Posteriormente para tener una idea más clara del espacio efectivo que ocupa este dispositivo de almacenamiento, dentro del esquema de la planta, se procederá a calcular su área en función del área de la base del cilindro, la cual coincide con el área de un círculo, tal que:

$$A = \pi * [r_c^2]$$

$$A = \pi * [(1.75 \text{ m})^2]$$

$$A = 9.621127502 \text{ m}^2$$

Finalmente, a continuación se expone un resumen con las características estructurales del silo considerado:

Tabla 36

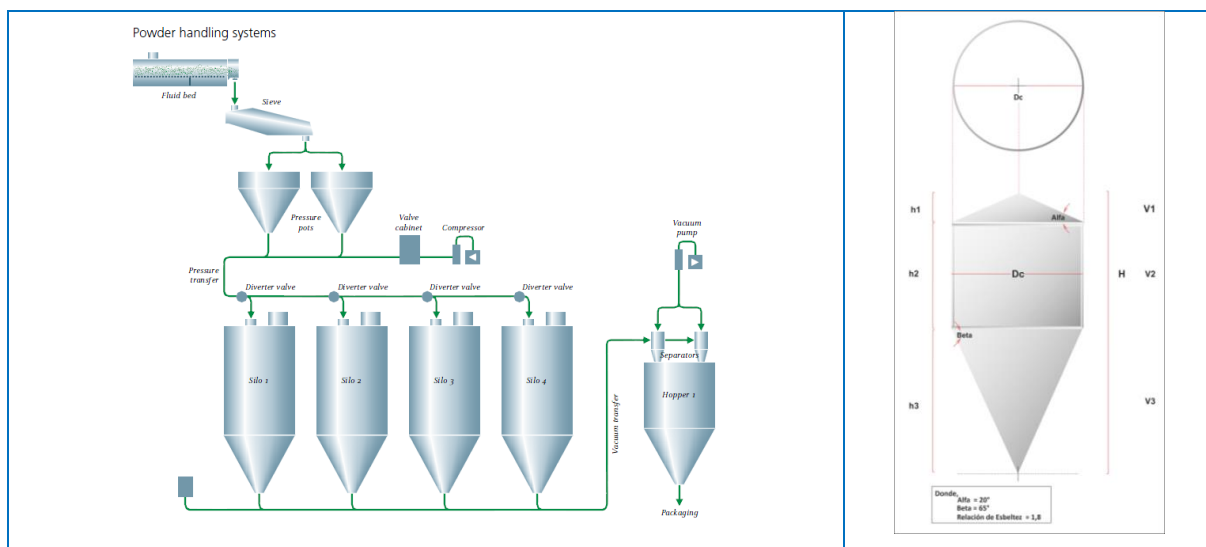
Características Técnicas del Silo de Acopio de Leche Fresca

Características del Silo para Almacenar la Leche Cruda.	
Parámetro	Valor Estimado
Diámetro del cilindro [D_C].	3.5 m
Radio del cilindro [r_C].	1.75 m
Altura del cilindro [h_2].	5.02610418 m
Altura de la tolva superior [h_1].	0.63694791 m
Altura de la tolva inferior [h_3].	0.63694791 m
Altura total del silo [H]	6.3 m
Volumen efectivo del silo [V_E]	48 m ³
Volumen total estimado [V_T]	52.44222719 m ³
Área ocupada en la superficie [A]	9.621127502 m ²

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.5 Determinación de las Dimensiones del Silo de Almacenamiento Temporal de la Leche en Polvo.

Para almacenar temporalmente la leche en polvo que sale como producto en tránsito del lecho vibrofluidificador durante el proceso productivo, se diseñará un silo que facilitará regular el proceso de llenado del producto en su empaque final.



Figuran 15 Especificaciones de Diseño del Silo de Leche en Polvo

Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

Primero que todo, considere el hecho que el silo deberá tener una capacidad que permita depositar la cantidad de leche que se producirá diariamente en la fábrica, la cual coincide con 6 Toneladas o 6000 *Kgr*, para lo cual se deberá estimar el valor correspondiente del volumen equivalente, respetando el valor nominal de la densidad de la leche en polvo extraída a partir del proceso de atomizado, tal y como se muestra a continuación:

$$\rho = \frac{Masa}{Volumen}$$

$$Masa = 6 \text{ Tonelda} = 6000 \text{ Kgr.}$$

Densidad de la leche en polvo [Deshidratada en spray].

$$\rho = 0,5[\text{Kg/Lts}]$$

Por lo tanto despejando,

$$Volumen = \frac{Masa}{\rho}$$

$$Volumen = \frac{6000 \text{ Kgr}}{0,5 [\text{Kg/Lts}]}$$

Lo cual permite concluir que los 6000 *Kgr* de leche en polvo ocupan un volumen efectivo de:

$$V_E = 12.000 \text{ Litros}$$

Es decir,

$$V_E = 12 \text{ m}^3$$

Por otro lado, si se considera que el silo tendrá aproximadamente un 10% de volumen libre, entonces se tiene que el volumen total esperado del silo es de:

$$V_T = [V_E] + [[V_E] * 0.1]$$

$$V_T = [12 \text{ m}^3] + [12 \text{ m}^3 * 0.1]$$

$$V_T = 13.2 \text{ m}^3 \text{ Aproximadamente.}$$

Teniendo en cuenta que D_C , es el diámetro del cilindro considerado y asumiendo que para efectos de diseño, este valor coincide con 2.65 m , se tiene:

$$D_C = 2.65 \text{ m}$$

Por ende, el radio es igual a:

$$r_C = 1.325 \text{ m}$$

Con estos datos es posible estimar la altura total del silo, sin considerar las secciones que lo constituyen, a partir de la relación de esbeltez, la cual para el presente caso tiene un valor de $e_1 = 1.8$

$$H = e_1 * D_C$$

$$H = 1.8 * 2.65 \text{ m}$$

$$H = 4.77 \text{ m}$$

Ahora bien para estimar cada una de las cotas de las secciones que lo componen, a continuación se procederá a realizar una serie de cálculos basados en los principios de la trigonometría y la geometría en el plano.

Altura de la tolva superior [h_1],

$$[h_1] = \frac{D_C * [\text{Tan } \alpha]}{2}$$

Donde se sabe que $\alpha = 20^\circ$

$$[h_1] = \frac{2.65 \text{ m} * [\text{Tan } 20^\circ]}{2}$$

$$[h_1] = 0.4822605604 \text{ m}$$

Altura de la tolva inferior $[h_3]$,

$$[h_3] = \frac{D_C * [\text{Tan } \beta]}{2}$$

Donde se sabe que $\beta = 65^\circ$

$$[h_3] = \frac{2.65 \text{ m} * [\text{Tan } 65^\circ]}{2}$$

$$[h_3] = 2.84147167 \text{ m}$$

Por otra parte, la altura del tronco de cilindro restante está dada por:

$$[h_2] = H - [h_1 + h_3]$$

$$[h_2] = 4.77 \text{ m} - [0.4822605604 \text{ m} + 2.84147167 \text{ m}]$$

$$[h_2] = 1.44626777 \text{ m}$$

Ahora bien, con estos datos es posible estimar la capacidad volumétrica de cada sección que compone el silo:

$$V_1 = \frac{\pi * [\text{Tan } \alpha] * [D_C^3]}{24}$$

$$V_1 = \frac{\pi * [\text{Tan } 20^\circ] * [[2.65 \text{ m}]^3]}{24}$$

$$V_1 = 0.8866293855 \text{ m}^3$$

O bien sea,

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi * [r^2] * [h_1]$$

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi * [[1.325 \text{ m}]^2] * [0.4822605604 \text{ m}]$$

$$V_1 = 0.8866293855 \text{ m}^3$$

De forma análoga el volumen de la tolva inferior es:

$$V_3 = \frac{\pi * [\text{Tan } \alpha] * [D_C^3]}{24}$$

$$V_3 = \frac{\pi * [\text{Tan } 65^\circ] * [[2.65 \text{ m}]^3]}{24}$$

$$V_3 = 5.224006455 \text{ m}^3$$

O bien sea,

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi * [r^2] * [h_3]$$

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi * [[1.325 \text{ m}]^2] * [2.84147167 \text{ m}]$$

$$V_3 = 5.224006455 \text{ m}^3$$

Por otra parte el volumen del tronco de cilindro V_2 se calcula fundamentalmente de la siguiente manera:

$$V_2 = \frac{\pi * [D_C]^2 * [h_2]}{4}$$

$$V_2 = \frac{\pi * [2.65]^2 * [1.44626777 \text{ m}]}{4}$$

$$V_2 = 7.976830014 \text{ m}^3$$

O bien sea,

$$V_2 = \pi * [r_c]^2 * [h_2]$$

$$V_2 = \pi * [1.325 \text{ m}]^2 * [1.44626777 \text{ m}]$$

$$V_2 = 7.976830014 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen total de todo el silo corresponde a la suma aritmética de cada una de las capacidades de las secciones involucradas en la estructura:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = [0.8866293855 \text{ m}^3] + [7.976830014 \text{ m}^3] + [5.224006455 \text{ m}^3]$$

$$V_T = 14.08746585 \text{ m}^3$$

Ahora bien, nótese que el volumen obtenido a través del cálculo geométrico, es muy aproximado al volumen inicial estimado de 13.2 m^3 , por lo que se concluye que los cálculos corresponden adecuadamente con la estructura inicialmente propuesta con relación de esbeltez igual a 1.8. Luego para tener una idea más clara del espacio efectivo que ocupa este dispositivo de almacenamiento, dentro del esquema de la planta, se procederá a calcular la superficie ocupada por este en función del área de la base del cilindro, la cual coincide con el área de un círculo tal y como se expone a continuación:

$$A = \pi * [r_c]^2$$

$$A = \pi * [(1.325 \text{ m})^2]$$

$$A = 5.515458602 \text{ m}^2$$

Finalmente, a continuación se expone un resumen con las características estructurales del silo considerado:

Tabla 37

Características Técnicas del Silo de Almacenamiento Temporal de Leche en Polvo

Características del Silo de Almacenamiento Temporal de Leche en Polvo.	
Parámetro	Valor Estimado
Diámetro del cilindro [D_C].	2.65 m
Radio del cilindro [r_C].	1.325 m
Altura del cilindro [h_2].	1.44626777 m
Altura de la tolva superior [h_1].	0.4822605604 m
Altura de la tolva inferior [h_3].	2.84147167 m
Altura total del silo [H]	4.77 m
Volumen efectivo del silo [V_E]	12 m ³
Volumen total estimado [V_T]	14.08746585 m ³
Área ocupada en la superficie [A]	5.515458602 m ²

Fuente: *Elaboración Propia.*

5.4.6 Diseño del Depósito para Almacenar el Agua Potable necesaria para Desarrollar la Tarea Productiva de la Planta.

Con el propósito de desarrollar un diseño de distribución de planta que cuente con los requisitos mínimos de operación, se hace necesario realizar el análisis cuantitativo que permita estimar el volumen y la superficie del depósito para almacenar los recursos hídricos que se serán necesarios para cumplir adecuadamente con la tarea productiva del esquema propuesto. De este modo, para efectos de diseño se considerarán los requerimientos de agua potable de los equipos más importantes involucrados en la planta industrial, con el fin de caracterizar apropiadamente el consumo aproximado de agua durante una corrida de producción que permita estimar un valor volumétrico adecuado con el cual modelar la alberca de agua potable necesaria en el sistema. [Considere a continuación el cálculo del consumo de agua de los equipo de mayor envergadura empleados en la fábrica por cada ciclo de producción].

5.4.6.1 Consumo de Agua del Sistema de Pasteurización.

Para analizar esta etapa, es importante tener en cuenta que el sistema Tetra Therm Lacta 1, que se empleará como dispositivo de pasteurización tiene un consumo de agua durante la producción de 1400 *Lts/hr*, tal y como se especificó en el capítulo 7 en el análisis técnico de los equipos. En este orden de ideas, a continuación se desarrollará el cálculo para determinar el consumo de agua de esta unidad en un ciclo de producción.

Considere:

Sea, C_p el consumo de agua del sistema pasteurizador

$$C_p = 1400 \frac{\text{Lts}}{\text{Hora}}$$

O bien sea,

$$C_p = 1.4 \frac{\text{m}^3}{\text{Hora}}$$

Teniendo en cuenta que el tiempo del ciclo del pasteurizador empleado equivale a 2.4 horas, es posible deducir que el consumo total de agua de este equipo por corrida de producción C_{Pt} , está dado por la siguiente relación:

$$C_{Pt} = 1400 \frac{\text{Litros}}{\text{Hora}} \times 2.4 \frac{\text{Horas}}{\text{Corrida}}$$

$$C_{Pt} = 3360 \frac{\text{Litros}}{\text{Corrida}}$$

Lo que equivale a,

$$C_{Pt} = 3.30 \frac{\text{m}^3}{\text{Corrida}}$$

Considere que el consumo de agua de la unidad durante el proceso de enjuague coincide con el valor de:

$$C_{pe} = 1100 \frac{Lts}{Hora}$$

O bien sea,

$$C_{pe} = 1.1 \frac{m^3}{Hora}$$

5.4.6.2 Consumo de Agua del Sistema de Evaporadores.

El arreglo de tubos evaporadores Tetra Magna considerado para la presente planta, tiene un consumo de agua de 70000 *Lts/hr*, de acuerdo a lo expuesto en la caracterización técnica de los equipos empleados para la planta, durante el desarrollo del capítulo 7. En este sentido, a continuación se desarrollará el cálculo para establecer el consumo de agua de este equipo en una corrida de producción.

Considere:

Sea, C_e el consumo de agua del sistema de evaporadores

$$C_e = 70000 \frac{Lts}{Hora}$$

O bien sea,

$$C_e = 70 \frac{m^3}{Hora}$$

Sabiendo que el tiempo del ciclo del sistema de evaporadores empleado equivale a 2.479 horas, es posible deducir que el consumo total de agua de este equipo por corrida de producción C_{et} , está dado por la siguiente relación:

$$C_{et} = 70000 \frac{\text{Litros}}{\text{Hora}} \times 2.479 \frac{\text{Horas}}{\text{Corrida}}$$

$$C_{et} = 173530 \frac{\text{Litros}}{\text{Corrida}}$$

Lo que equivale a,

$$C_{et} = 173.53 \frac{\text{m}^3}{\text{Corrida}}$$

5.4.6.3 Consumo de Agua del Equipo de Atomización o de Secado Spray.

Con el objetivo de analizar esta fase, es necesario destacar que el consumo de agua del sistema de secado o deshidratación Tetra Pak Spray Dryer Tall Wide Body, de acuerdo con el análisis técnicos de los equipos, coincide con el valor de 20000 Lts/hr, por lo que se desarrollará el cálculo para determinar el consumo de agua de esta unidad en un ciclo de producción, en función de dicho valor.

Considere:

Sea, C_s el consumo de agua del sistema Spray Dryer,

$$C_s = 20000 \frac{\text{Lts}}{\text{Hora}}$$

O bien sea,

$$C_s = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{Hora}}$$

Sabiendo que el tiempo del ciclo del sistema de atomización empleado equivale a 2 horas, es posible deducir que el consumo total de agua de este equipo por corrida de producción C_{st} , está dado por la siguiente relación:

$$C_{st} = 20000 \frac{\text{Litros}}{\text{Hora}} \times 2 \frac{\text{Horas}}{\text{Corrida}}$$

$$C_{st} = 40000 \frac{\text{Litros}}{\text{Corrida}}$$

Lo que equivale a,

$$C_{st} = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{Corrida}}$$

Con esta información es posible estimar el consumo medio de agua en el área de producción a partir de la suma aritmética de los metros cúbicos empleados por cada equipo durante una corrida tal y como se expone en la siguiente tabla:

Tabla 38

Consumo de Agua por Equipo

Equipos Considerados	Consumo de Agua
Pasteurizador	4.4 m ³ /Corrida
Evaporadores	173.53 m ³ /Corrida
Spray Dryer	C _{st} = 40 m ³ /Corrida
Consumo Total de Agua por Corrida	217.93 m³/Corrida

Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente para desarrollar el diseño del depósito de agua potable, se considerará una capacidad volumétrica que doble el consumo total de agua estimado, con el fin de establecer un margen de seguridad que permita contar con la suficiente cantidad de recursos hídricos requeridos para la generación del vapor empleado en el proceso de elaboración de la leche en polvo. En virtud de ello, en el siguiente diagrama se exponen las consideraciones iniciales de diseño asociadas a la relación que guardan las longitudes de cada una de las cotas consideradas, con las cuales será posible estimar los valores reales que debe tener el depósito, en función de la capacidad volumétrica estimada de agua y fijada en el valor de 435.86 m³.

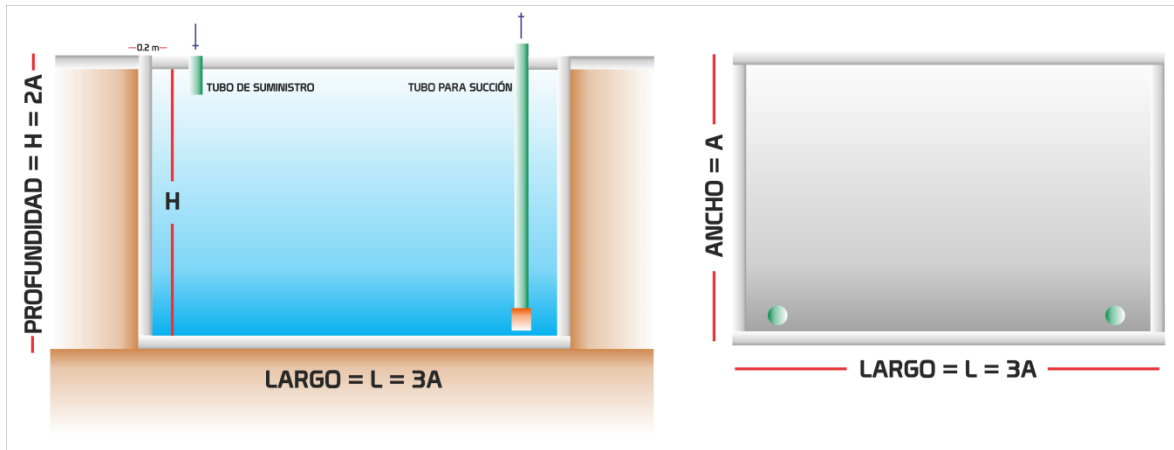


Figura 16 Especificaciones de Diseño del Depósito de Agua Potable
Fuente: Elaboración Propia Empleando CorelDraw 2017.

Sea V_D el volumen de la alberca donde se almacenara el agua potable de la industria, el cual se encuentra definido por la siguiente expresión:

$$V_D = L \times A \times H$$

Donde se sabe que de acuerdo con el diagrama, los lados conservan una relación entre sus longitudes, por lo que el volumen se puede reescribir bajo la siguiente igualdad:

$$V_D = [3A] \times [A] \times [2A]$$

$$V_D = 6A^3$$

Despejando la anchura A ,

$$A^3 = \frac{V_D}{6}$$

$$A = \sqrt[3]{\frac{V_D}{6}}$$

Considerando que el volumen de la alberca coincidirá con el doble del valor estimado del consumo total de agua empleado por los equipos en la generación de vapor durante una corrida de producción, es posible calcular el ancho del recinto.

$$A = \sqrt[3]{\frac{435.86 \text{ m}^3}{6}}$$

$$A = \sqrt[3]{72.6433 \text{ m}^3}$$

Por lo tanto la anchura A queda reducida a la siguiente cota de longitud,

$$A = 4.1725 \text{ m}$$

Consecuentemente se deduce que las cotas restantes quedan definidas tal y como se expone a continuación:

Sea H la profundidad,

$$H = 2A$$

$$H = 2 \cdot [4.1725 \text{ m}]$$

$$H = 8.3450 \text{ m}$$

Sea L la longitud,

$$L = 3A$$

$$L = 12.5175 \text{ m}$$

Finalmente las dimensiones del depósito de agua potable se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla 39

Dimensiones de la Alberca de Agua Diseñada

Entidad	Valor
Largo [L]	12.5175 m
Ancho [A]	4.1725 m
Profundidad [H]	8.3450 m
Capacidad Volumétrica [V_D]	435.86 m ³
Área A_D	52.229 m ²

Fuente: *Elaboración Propia*

5.4.7 Determinación de las Características de los Camiones Cisternas Empleados.



Figura 17 Imagen Representativa del Camión Cisterna Empleada en la Planta
Fuente: Volvo Trucks. www.volvotrucks.es. (2016).

Considerando que la cantidad de litros de leche cruda que demanda la planta es de 48.000 litros diario, para cumplir con la producción propuesta de 6 toneladas de leche en polvo por día, se propone la utilización de camiones cisterna para el transporte de este insumo hasta la planta de procesamiento. En este sentido, se hace necesario describir las especificaciones tanto de capacidad de carga de fluido, como de las dimensiones de los automotores a utilizar. Por lo tanto, de acuerdo con las necesidades de transporte de leche cruda que demanda la planta de procesamiento que se propone en el presente informe, se consideran emplear camiones cisterna cuya capacidad de carga equivalente es de 10.500 litros, de los cuales se tiene proyectado emplear 5 unidades destinado para el transporte de la leche cruda. Considere a continuación la descripción de las características de los camiones empleados.

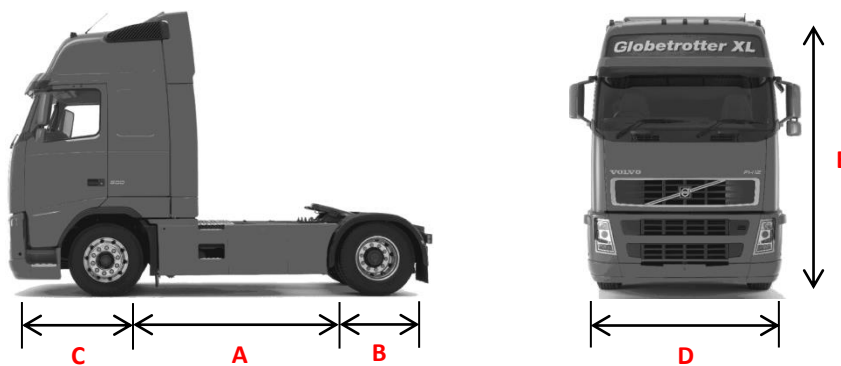


Figura 18 Especificaciones de los Camiones para el Transporte de Leche Cruda
Fuente: Volvo Trucks. www.volvotrucks.es. (2016).

Tabla 40

Dimensiones de los Ejes de los Camiones Cisterna


Dimensiones del Camión [Mm]	
A – Entre ejes	4300
B – Voladizo trasero	2345
C – Distancia de eje delantero-Equipo	573
D – Ancho	2474
E – Largo	2980

Fuente: Volvo Trucks [Especificaciones Técnicas, Volvo FM].
 www.volvotrucks.es. (2016).

En la tabla expuesta a continuación, se resume la información sobre las características dimensionales que deben poseer tanto los camiones, como el taque cisterna empleado para las labores de transporte de la leche cruda hasta la planta de procesamiento.

Tabla 41

Resumen de las Características Dimensionales de los Camiones Cisterna

Tabla Resumen de Características del Camión Cisterna Empleado			
Camión Cisterna	Características		
	Dimensiones del Tanque Cisterna [Metros]	Largo	4,6
		Ancho	1,5
		Alto	2,05
	Dimensiones del Camión [Metros]	Largo	7,218
		Ancho	2,474
		Alto	2,980
	Longitud Total del Camión [Metros]		7.128
Capacidad del Tanque [Litros]	Volumen	10,500	

Fuente: Volvo Trucks [Especificaciones Técnicas, Volvo FM]. www.volvotrucks.es. (2016).

5.4.8 Determinación de las Características de los Camiones Carga Empleados.



Figura 19 Imagen Representativa del Camión de Carga Empleado en la Planta
Fuente: Chevrolet Trucks. www.chevrolet.com.co. (2017).

Teniendo en cuenta que la capacidad diaria de producción de la fábrica coincide con el valor de 6 *Tons/Día*, es decir, 6000 *Kgr* diario de leche en polvo totalmente deshidratada, que serán empacados en bolsas de presentación de 1 *Kgr*, es decir, serán almacenados en bodega 3600 cajas de 10 *Kgrs* de leche procesada, por el periodo de producción de 6 días, las cuales posteriormente serán distribuidas y transportadas al séptimo día a los respectivos clientes. De este modo, es necesario detallar las características tanto de capacidad de carga, como de las dimensiones de los camiones que se consideran utilizar. En este sentido, de acuerdo con los requerimientos de transporte y distribución del producto terminado que se establece en el esquema de producción propuesto, se considerará utilizar camiones cuya capacidad de carga equivalente es de 10275 *Kg*, y de los cuales se tiene proyectado emplear 4 unidades destinados para el transporte de la leche en polvo. [Considere a continuación la descripción de las características de los camiones empleados].

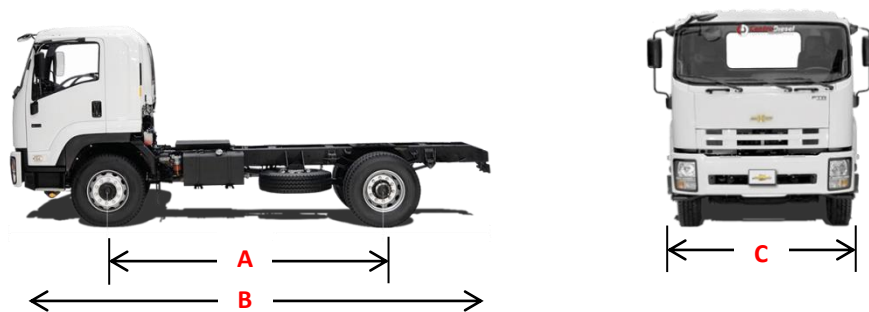


Figura 20 Especificaciones de los Camiones para el Transporte del Producto Terminado
Fuente: Chevrolet Trucks. www.chevrolet.com.co. (2017).

Tabla 42

Dimensiones de los Ejes de los Camiones de Carga



Dimensiones del Camión [Mm]	
A – Entre ejes	5050
B – Longitud total	8505
C – Ancho total	2392

Fuente: Chevrolet Trucks [Especificaciones Técnicas FTR].
www.chevrolet.com.co. (2017).

En la tabla expuesta a continuación, se resume la información sobre las características dimensionales que deben poseer los camiones, para las labores de transporte del producto terminado.

Tabla 43

Resumen de las Características Dimensionales de los Camiones de Carga

Tabla Resumen de Características del Camión de Carga Empleado			
CAMIÓN DE CARGA	CARACTERÍSTICAS		
	Dimensiones total del camión [Metros]	Largo	8,505
		Ancho	2,392
		Alto	2,980
	Capacidad de carga [Kg]	10,500	

Fuente: Chevrolet Trucks [Especificaciones Técnicas FTR]. www.chevrolet.com. (2017).

5.5 Características Técnicas de los Equipos Empleados

La importancia de las máquinas y los equipos en la producción es indiscutible e inmensa, pues aumentan y aceleran los procedimientos, perfeccionan los trabajos, abaratan los procesos, ahorran esfuerzos penosos, hacen al hombre dueño de la producción, facilitan el comercio, extienden el consumo, satisfacen muchas necesidades y promueven tanto el progreso como el

bienestar universal. En este sentido, en el presente apartado se describirán las características técnicas más relevantes de los equipos de uso industrial empleados en la sintetización de leche en polvo, con el objetivo de identificar aquellas propiedades cualitativas y cuantitativas que mayor repercusión tienen tanto en la capacidad productiva como en el esquema de distribución en planta de este particular tipo de organización industrial. [Considere la siguiente tabla en la cual se listan los equipos implicados en este esquema productivo].

Tabla 44

Lista de los Equipos Empleados en el Esquema Productivo

Equipos Empleados	
Silo de Almacenamiento de Leche Cruda.	
Sistema de Pasteurización.	
Tanque Intermedio entre el Pasteurizador y los Evaporadores.	
Sistema de Evaporadores.	
Tanque Intermedio entre el Evaporador y el Spray Dryer.	
Equipo de Atomización o Spray Dryer.	
Lecho de Fluido Externo o Vibrofluidificador.	
Silo de Almacenamiento Temporal de Leche en Polvo.	
Máquina Empacadora de Película Flexible.	
Banda Transportadora para Proceso de Embalaje.	
Máquina de Paletizado.	
Sistema de Ventilación y Presurización Forzado.	

Fuente: *Elaboración Propia*



5.5.1 Descripción del Sistema de Pasteurización.

El sistema Tetra Therm Lacta 1, es fundamentalmente un equipo intercambiador de calor del tipo HTST o [High Temperature/Short Time], es decir, de alta temperatura y de corto lapso de tiempo, el cual es diseñado con los más altos estándares de calidad para desarrollar el proceso de esterilización parcial de productos lácteos a un nivel industrial y de uso continuo, con el objeto de reducir al máximo la presencia de los agentes patógenos usualmente asociados con el tratamiento de la leche cruda, el yogur lácteo, la mezcla de crema para helado y otras variantes comerciales de la leche.

■ **Especificaciones técnicas del sistema de pasteurización seleccionado:**

Tabla 45

Características Técnicas del Pasteurizador Tetra Therm™Lacta 1

Tetra Therm™Lacta 1	
	Fabricante: 
	Tipo Pasteurizador: [HTST] Relámpago o Flash.
Capacidad Nominal:	20.000 Lts/hr
Temperatura de Entrada:	4 °C
Temperatura de Pasteurización:	74 °C
Tiempo de Retención del Calor:	15 Sg
Temperatura de Separación y Homogeneización	~60 °C
Temperatura de Salida:	4 °C
Temperatura de Desaireación	~64 °C
Porcentaje de Regeneración de calor:	86 %
Tasa de Inyección de Vapor Durante la Esterilización a 3 Bares de Presión:	De 20 a 50 kgr/hr Pico.
Flujo de agua helada, a 3 bares, a 2 °C a la entrada y 7 °C a la salida:	1.400 Lts/hr Durante la Producción.
Consumo de Agua Durante el Enjuague CIP a 3 Bares:	~1 100 Lts/hr
Caudal Normal de Aire a Presión:	50 NLts/min
Voltaje de Alimentación:	280/400 V, AC, 50 Hz
Potencia Eléctrica Absorbida:	8 – 20 Kw Dependiendo de la Operación
Área Requerida:	[8,2 m] × [5,185 m]
Altura Máxima del Equipo:	2,25 m

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com.

5.5.1.1 Configuración Típica en Planta del Equipo de Pasteurización.

Considere el siguiente gráfico y la tabla de dimensiones asociadas, en la que se expone de manera pictórica el esquema de ubicación práctica recomendado por el fabricante del dispositivo pasteurizador seleccionado, dentro del entorno típico de una planta de tratamiento de productos lácteos.

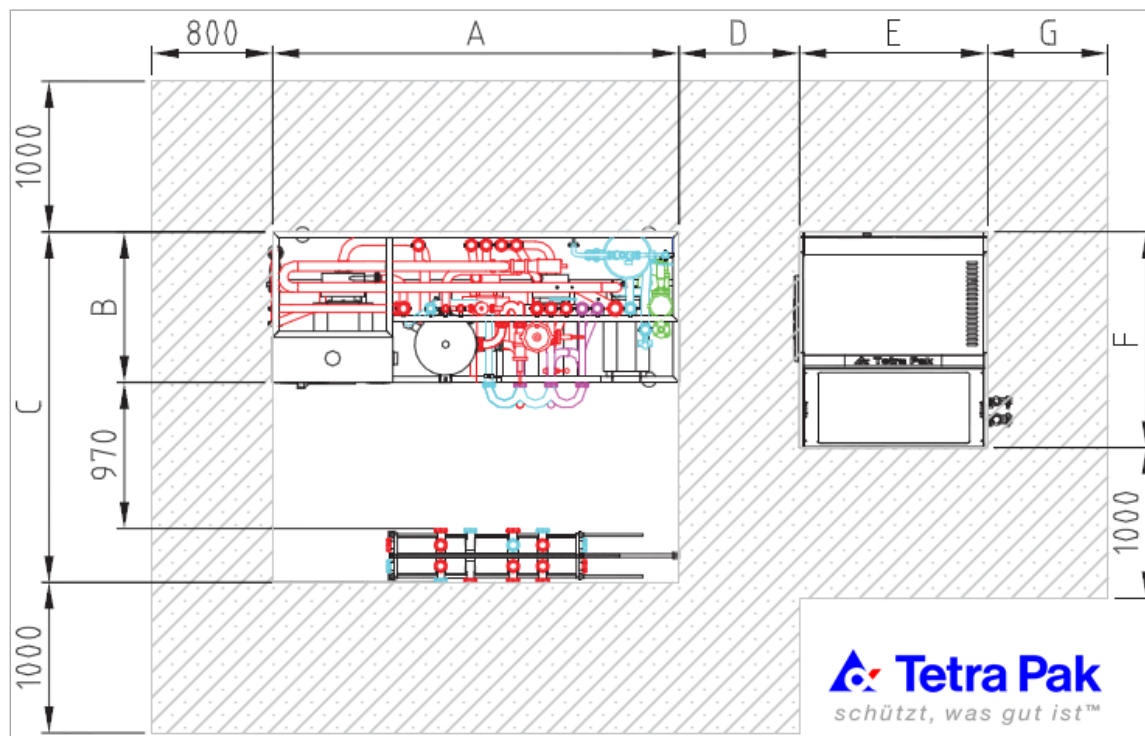


Figura 21 Disposición Característica del Equipo de Pasteurización
 Fuente: Tetra Pak. www.tetrapak.com.

Tabla 46

Resumen de las Dimensiones del Pasteurizador

Dimensiones de la Configuración							
A	B	C	D	E	F	G	Altura H*
4 m	1.35 m	3.185 m	1 m	1.4 m	2.24 m	1 m	2.25 m

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com.

5.5.2 Descripción del Sistema de Evaporadores.



La serie de evaporadores Tetra Magna, producidos por la firma multinacional Tetra Pak, es esencialmente un sistema completo de intercambiadores de calor que permite extraer la máxima cantidad de agua de la leche, para obtener un líquido concentrado con la viscosidad adecuada para su posterior secado en el atomizador spray. El sistema está compuesto esencialmente por un arreglo de concentradores multi-efecto de película descendente de tipo tubular y de calentador vertical, el cual trabaja con un complejo equipo de tratamiento térmico

del tipo TVR o Thermal Vapour Recompression, es decir, de Vaporización por Re-Compresión Térmica, logrando evaporar o extraer alrededor del 50% de la humedad de la leche bajo condiciones de vacío. La flexibilidad de este dispositivo lo hace adecuado para su aplicación en una amplia variedad de composiciones y capacidades productivas, por lo que es ideal para la producción de una extensa gama de productos lácteos.

▪ **Especificaciones Técnicas del Sistema de Evaporadores Seleccionados:**

Tabla 47

Características Técnicas de los Concentradores TetraMagna™Evaporator – TVR

TetraMagna™Evaporator – TVR	
	 <small>schützt, was gut ist™</small>
Fabricante:	Multi-Efecto de Película Descendente.
Tipo Vaporizador:	[TVR]
Tipo de Sistema de Inyección:	Re-Compresión Térmica.
Intervalo Típico de Sólidos Concentrados en la Leche Fluida:	[12% al 50%]
Capacidad Máxima en [kgr/hr]:	20.000 kgr/hr
Capacidad Máxima en [Lts/hr]:	19.361 Lts/hr
Tasa de Inyección de Vapor Directo:	3,000 kgr/hr
Potencia Eléctrica Absorbida:	50 kW
Tasa de refrigeración con agua a 30 °C en la entrada y 45 °C a la salida.	$70 \frac{m^3}{hr}$
Área Requerida:	[15m] × [7m]
Altura Requerida del Edificio:	18 m

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com

5.5.2.1 Localización Típica de los Evaporadores dentro del Esquema de Distribución en Planta.

A continuación se muestra una tabla en la que es posible apreciar la configuración usualmente empleada para ubicar el arreglo de evaporadores o concentradores de leche, con relación a la infraestructura de una planta de tratamiento de productos lácteos.



Figura 22 Disposición Característica del Equipo Evaporador
Fuente: GEA Group. www.gea.com

5.5.3 Descripción del Equipo de Atomización o de Secado Spray.



El sistema de secado o deshidratación Tetra Pak Spray Dryer Tall Wide Body, es esencialmente un dispositivo de atomización de alta tecnología del tipo RHI [Rotary Heat Injection], es decir, de Inyección Rotativa de Calor, el cual se caracteriza por pulverizar el fluido de leche previamente concentrada dentro de una amplia cámara cónica de aproximadamente 20 metros de altura y 8,5 metros de diámetro en su parte superior. Esta cámara es sometida a una corriente controlada de aire caliente, con temperaturas oscilantes entre los 190 °C y los 200 °C. El fluido de leche es atomizado a una presión aproximada de 200 bars o 2900 PSI, a través de un arreglo de pértigas que disponen de boquillas tipo racor en sus extremos, haciendo que la leche líquida se disperse en una bruma de millones de micro-gotas individuales, de tamaño aproximado de 0,2 a 0,3 mm. Con este proceso el área de la superficie de contacto del producto lácteo aumenta enormemente y cuando se encuentra dentro de la cámara con la corriente de aire caliente de secado, se produce la vaporización rápida del solvente del producto, el cual para el presente caso es agua, provocando frigorías en el centro de cada micro-gota donde se encuentra el componente sólido que se seca suavemente sin generar gran choque térmico, transformando de

este modo a las pequeñas gotas en un polvo que conserva gran parte de las propiedades intrínsecas de la leche fluida, el cual será inmediatamente enviado a través del ducto inferior del cono, al lecho vibrofluidificador donde se concluirá el proceso de secado y enfriado del producto, lo cual facilitará su posterior empaque, embalaje y comercialización.

▪ **Especificaciones Técnicas del Sistema de Spray Dryer Seleccionado:**

Tabla 48

Características Técnicas del Atomizador Tetra Pak™ Spray Dryer Tall Wide Body

Tetra Pak™ Spray Dryer Tall Wide Body		
	Fabricante:	 <i>schützt, was gut ist™</i>
	Tipo de Atomizador:	[RHI] Inyección de Calor Rotativo
	Capacidad de Deshidratación del Concentrado de Leche:	12.000 <i>Lts/hr</i>
	Capacidad de producción del sistema:	3.000 <i>kgr/hr</i>
	Tasa de Inyección de Vapor:	8.000 <i>kgr/hr</i>
	Potencia Eléctrica Absorbida:	580 <i>kW</i>
	Flujo de agua helada, a 2 ° C a la entrada y 8 ° C a la salida:	20 <i>m³/hr</i>
	Capacidad de Compresión de Aire:	6 <i>m³/hr</i>
	Área Proyectada del Cono:	56,74 <i>m²</i>
	Área Requerida:	100 <i>m²</i>
Altura Requerida del Edificio:	20 <i>m</i>	

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com.

5.5.3.1 Localización Típica del Spray Dryer dentro del Esquema de Distribución en Planta.

En el presente apartado se expone una tabla en la cual es posible apreciar, la disposición típica por niveles para un equipo de atomización de leche en polvo de mediana envergadura, dentro la distribución en planta de una industria de este tipo.

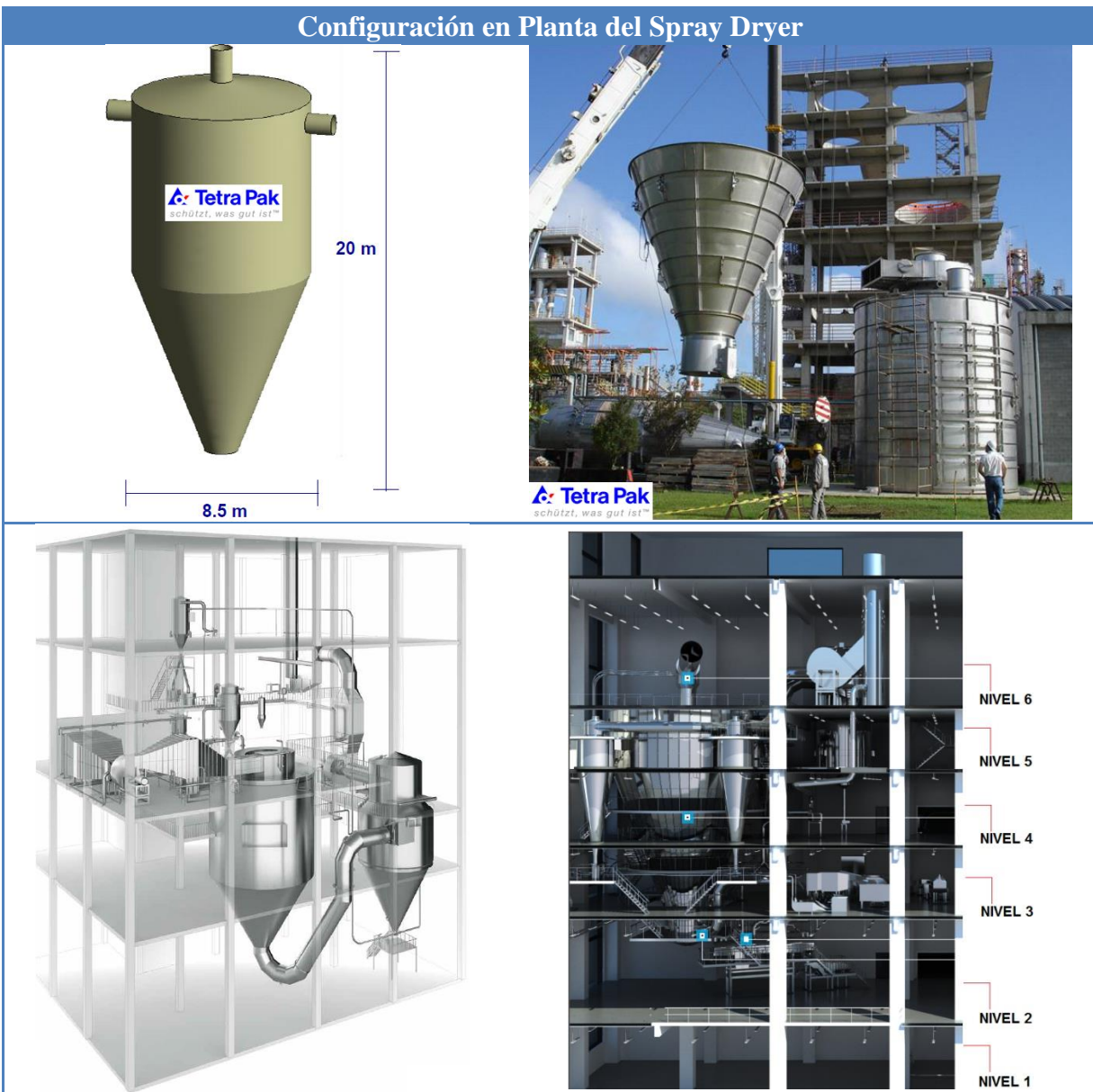


Figura 23 Disposición Característica del Equipo de Pulverización Empleado
Fuente: Tetra Pak. www.tetrapak.com.

5.5.4 Descripción de los Tanques de Acumulación Intermedia Empleados para la Regulación del Caudal.

Los tanques de acopio intermedio o tanques tipo pulmón aséptico de la serie Tetra Alsafe, son esencialmente buffers para el almacenamiento de productos fluidos en tránsito, es decir, para la acumulación del flujo de un producto en proceso durante poco tiempo, y generalmente son empleados para dosificar el producto al siguiente equipo con el objeto de continuar su posterior tratamiento.

Estos tanques construidos con acero inoxidable de la más alta calidad, son también denominados buffers de regulación o de balanceamiento, debido a que permiten desviar el producto y absorber las desviaciones de caudal, permitiendo de este modo mantener un flujo constante dentro del esquema productivo de la planta.[Considere la siguiente figura ilustrativa].

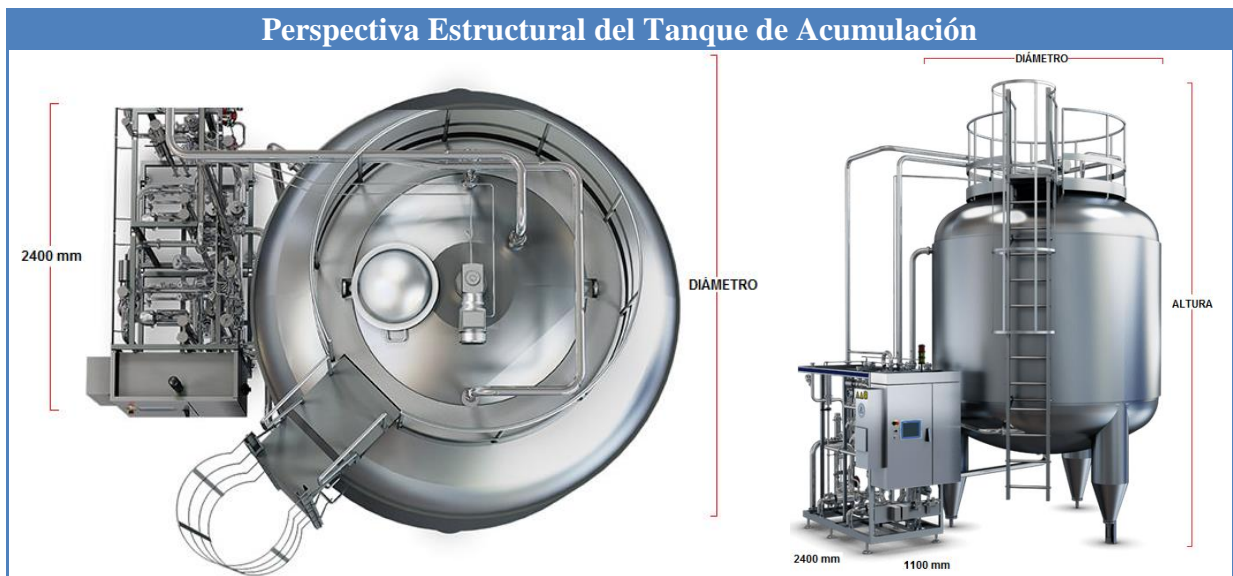


Figura 24 Imagen del Tanque de Acumulación Intermedia Utilizado
 Fuente: Tetra Pak. www.tetrapak.com.

En este orden de ideas es fundamental aclarar, que en el proceso analizado en el presente informe se emplearán este tipo de unidades de balanceamiento en dos puntos críticos del proceso de elaboración de la leche en polvo. El primero será ubicado entre el pasteurizador y los evaporadores, y el segundo estará localizado entre el evaporador y el Spray Dryer, pero

esencialmente ambas unidades de acopio tendrán características físicas diferentes, debido a los requerimientos de capacidad que expone cada una de estas dos etapas consideradas.

5.5.5 Descripción del Tanque de Acumulación Intermedia entre el Pasteurizador y los Evaporadores.

En el presente apartado se expone de manera sintetizada las principales características del tanque Tetra Alsafe de 50.000 Lts que será empleado como dispositivo de dosificación entre pasteurizador y los concentradores de leche.

▪ **Especificaciones Técnicas del Tanque de Acumulación de Alta Higiene Seleccionado:**

Tabla 49

Características Técnicas Del Tanque Tetra Alsafe™ 50.000 Lts

Tetra Alsafe™ 50.000 Lts.	
	Fabricante: 
	Tipo de Tanque [Búfer]: Intermediate Aseptic Tank.
	Capacidad Volumétrica: 50.000 Lts
	Presión de trabajo Máxima: 300 kPa [3,0 Bars].
	Altura: 7,6 m
	Diámetro Máximo: 3,6 m
	Área ocupada por el Tanque: 10,18 m ²
	Área ocupada por la Consola: [1,1m] × [2,4m]
	Altura de la consola: 2,4m
	Peso Neto: 9.100 kgr
Temperatura Mínima de Esterilización: 125 °C	
Material de Construcción: Acero Inoxidable AISI 304	

Fuente: *Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com.*

5.5.6 Descripción del Tanque de Acumulación Intermedia entre el Evaporador y el Spray Dryer.

De forma análoga al anterior aparato, a continuación se describen las características del tanque de la serie Tetra Alsafe de 30.000 Lts, que estará ubicado entre el arreglo de columnas de concentración y el dispositivo de atomización de la leche, el cual será esencial, para regular el caudal del concentrado hacia el dispositivo crítico del procesamiento de la leche en polvo.

▪ **Especificaciones Técnicas del Tanque de Acumulación de Alta Higiene Seleccionado:**

Tabla 50

Características Técnicas del Tanque Tetra Alsafe™ 30.000 Lts

Tetra Alsafe™ 30.000 Lts.	
	<p>Fabricante:  <i>schützt, was gut ist™</i></p>
Tipo de Tanque [Búfer]:	Intermediate Aseptic Tank.
Capacidad Volumétrica:	30.000 Lts
Presión de trabajo Máxima:	300 kPa [3,0 Bars].
Altura:	5,6 m
Diámetro Máximo:	3,6 m
Área ocupada por el Tanque:	10.18 m ²
Área ocupada por la Consola:	[1,1m] × [2,4m]
Altura de la consola:	2,4m
Peso Neto:	6.300 kgr
Temperatura Mínima de Esterilización	125 °C
Material de Construcción:	Acero Inoxidable AISI 304

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com.




5.5.7 Descripción del Lecho de Fluido Externo o Vibrofluidificador.

El lecho fluidizado o vibrofluidificador Niro fabricado por el grupo alemán GEA, es básicamente una cámara de separación de partículas, en la que también se concluye el proceso de secado y enfriamiento de las mismas, gracias a la transferencia de calor y masa que se realiza dentro del túnel vibrante del equipo. En este dispositivo el soplador de aire es controlado de forma asistida para que se obtenga una vibración homogénea en un amplio intervalo de velocidades del motor, lo que permite conseguir una fluidización eficiente para una variedad de materiales y ofrece un control preciso de la temperatura de secado del producto terminado.

▪ **Especificaciones Técnicas de la Cámara Vibrofluidificadora Seleccionada:**

Tabla 51

Características Técnicas del Vibrofluidificador Niro Vibro Fluidizer

Niro VIBRO FLUIDIZER® – Sanitary Design		
	Fabricante: 	
	Tipo de Lecho: Vibrating Fluid-Bed Dryer.	
Capacidad de producción:	2.300 <i>kg</i> /hr	
Flujo de Masa de Aire de Escape:	13.500 <i>kg</i> /hr	
Temperatura de Rocío:	30 °C	
Potencia del Calentador de Aire:	164.400 <i>Kcal</i> /hr	
	Potencia del Ventilador:	45 <i>kW</i>
	Tiempo Medio de Residencia del Material:	18 <i>min</i>
	Área del Lecho:	6,3 <i>m</i> ²
	Altura de la Cámara:	1,2 <i>m</i>
	Anchura del Recinto:	1,25 <i>m</i>
	Longitud del Recinto:	5,04 <i>m</i>

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante GEA Group. www.gea.com.

5.5.7.1 Localización Típica del Vibrofluidificador dentro del Esquema de Distribución en Planta.

En el presente apartado se expone un recuadro en la cual es posible observar, la ubicación del lecho de fluido externo o Vibrofluidificador, dentro de la configuración en planta de una industria productora de leche en polvo.



Figura 25 Disposición Característica del Lecho de Fluido Externo

Fuente: www.gea.com.

5.5.8 Descripción del Sistema de Empacado.

El grupo italiano PFM, produce máquinas envasadoras verticales Form Fill Seal [FFS] para el envase a alta velocidad de productos granulados de varios géneros, food y no food. A las envasadoras verticales se acoplan sistemas de dosificación y pesadoras lineales o multicabezales. La profesionalidad del personal técnico y la vanguardia tecnológica alcanzada en el diseño y construcción de las máquinas permiten satisfacer con las exigencias de producción, tanto por tipología de producto a envasar, como por el género de packaging a utilizar. La máquina que se consideró para el empacado de nuestro producto es fundamentalmente un sistema de embalaje para el formado, llenado y sellado vertical de paquetes cerrados con tres sellos de un rollo de material termosellable. Esta máquina es particularmente compacta gracias al uso inteligente de la

electrónica y las proporciones de los diferentes componentes de la máquina. Así mismo, presenta características que permiten obtener una elevada productividad (hasta 60 paquetes/min), además de contener una interfaz que permite la interacción Hombre-Máquina, de una manera simple e intuitiva. A continuación se exponen las especificaciones técnicas de la máquina de empaque:

▪ **Especificaciones Técnicas de la Máquina de Empacado Seleccionada:**

Tabla 52

Características Técnicas de la Empacadora PFM Zenith

PFM Zenith	
	Fabricante: 
	Tipo de Máquina: PFM Zenith
	Capacidad de producción: 60 Bolsas/min
	Longitud del paquete: Min 80 mm Max 400 mm
	Anchura del paquete: Min 100 mm Max 220 mm
	Peso: 500 Kg
	Material de embalaje: Polietileno laminado o acoplado.
	Alimentación: 380 Volt
	Consumo eléctrico: 4 Kw/h
	Funcionamiento: Neumático
	Sistema de soldadura: Intermitente
	Longitud: 2,71 m
	Anchura: 2,065 m
	Altura: 1,912 m
	Área Ocupada por la Máquina: 5,59 m ²

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante PFM Group. www.pfm.it.

5.5.9 Descripción del Sistema de Paletización.

El sistema de paletización producido por la firma multinacional Premier Tech Chronos [PTC], es fundamentalmente una maquina completamente automática construida de acero estructural pesado y elementos de acero soldados en una estructura compacta y resistente. Para la implantación de esta máquina no se requiere de pozos o estructuras especiales para la instalación. Además de esto, tiene la ventaja de que todos los rodamientos, cadenas, interruptores, motores eléctricos, etc., son de fabricación estándar y de fácil disponibilidad en almacenes locales. Este paletizador de alto nivel, alcanza velocidades de hasta 35 cajas por minuto, además su diseño ofrece importantes ahorros de espacio. A continuación se describe las diferentes especificaciones técnicas de la máquina de paletización:

- **Especificaciones Técnicas de la Maquina de paletización Seleccionada:**

Tabla 53

Características Técnicas de la Paletizadora Premier Tech SPLX MKI

SPLX MKI - Paletizador de Alto Nivel	
	<p>Fabricante: </p>
Tipo de Maquina:	SPLX MKI - Paletizador de Alto Nivel
Tasa de producción:	35 Cajas/min
Tipo Contenedores	Cajas
	Totalizadores
	Bandejas
	Baldes
Longitud:	4,318 m
Anchura:	2,413 m
Altura:	2,642 m
Área Ocupada por la Maquina:	10,41m ²

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Premier Tech Ltda. www.premiertech.com.



5.5.10 Descripción de las Bandas Transportadoras [Conveyors] Empleadas en los Procesos de Embalaje.

El sistema de transporte Belt Conveyor de la firma Premier Tech Chronos, es una banda transportadora de correa sin fin de uso industrial y de alta durabilidad que permite que el producto viaje directamente sobre la cinta, la cual es sostenida por una sección del transportador de rodillos o por una sección del transportador de cama deslizante. Esta banda posee un diseño modular que permite ajustarse ergonómicamente a las características de longitud, velocidad, torsión e inclinación que se precisen dentro de un esquema productivo, por lo que será especialmente útil para ser empleadas a la salida del proceso de empaque de la leche en polvo, como también será adecuada para transportar las cajas embaladas por los operarios para su posterior desplazamiento a la máquina de paletización final.

▪ **Especificaciones Técnicas de la Banda Transportadora Seleccionada:**

Tabla 54

Características Técnicas de la Banda Transportadora Premier Tech Belt Conveyor

Transportador de Correa [Belt Conveyor]					
	Fabricante: 				
	Tipo de Maquina: Transportador de correa				
	Velocidad de producción: 76,2 Metros/min				
	Capacidad (Peso) 300 Nm (225 $\frac{lb}{ft}$)				
	Tipo Contenedores				
	<table border="1"> <tr><td>Cajas</td></tr> <tr><td>Totalizadores</td></tr> <tr><td>Bandejas</td></tr> <tr><td>Baldes</td></tr> </table>	Cajas	Totalizadores	Bandejas	Baldes
	Cajas				
	Totalizadores				
Bandejas					
Baldes					
Ancho del transportador de correa Estándar: 30,5 Cm					

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Premier Tech Ltda. www.premiertech.com.




5.5.11 Equipo de Bombeo de Alta Presión.

La bomba helicoidal de husillo de doble flujo, fabricada por el grupo alemán Jung Process Systems, consta de dos boquillas para la entrada del fluido y una boquilla de salida central. Su utilización trae consigo ventajas para poder trabajar a altas presiones alcanzando hasta los 50 Bars, además de ofrecer la posibilidad de bombear un caudal volumétrico muy elevado. La utilización de este equipo de bombeo, radica en transportar de manera eficiente el volumen necesario de leche fluida, entre las distintas áreas que hacen parte de la línea productiva para su posterior procesamiento. A continuación se describe las diferentes especificaciones técnicas del equipo de bombeo utilizado:

- **Especificaciones Técnicas del Equipo de Bombeo de Alta presión Seleccionado:**

Tabla 55

Características Técnicas de la Bomba Helicoidal de Husillo HYGHSPIN

Bomba helicoidal de Husillo HYGHSPIN Double Flow	
	Fabricante: 
	Tipo de Bomba: Bomba Helicoidal de Husillo HYGHSPIN Double Flow.
Capacidad de Bombeo:	1 m ³ /h – 100 m ³ /h
Presión de Bombeo	50 Bars
Entrada de la Bomba:	2" – 2.5"
Salida de la Bomba:	2.5" – 3"
Peso Neto:	310 Kg
Longitud:	980 mm [0,98 mts]
Ancho:	259 mm [0,259 mts]
Altura:	416 mm [0,416 mts]
Área ocupada por la Bomba: 0,25382 mts ²	
	

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Jung Process Systems.
www.jun-process-systems.de.

5.5.12 Descripción de los Equipos Auxiliares.

En este apartado se describen los equipos de soporte auxiliar los cuales son determinantes para la óptima operación y seguridad de la planta.

5.5.12.1 Descripción del Sistema de Ventilación y Presurización de la Planta.

En toda planta de producción de leche en polvo, existen siempre preocupaciones en lo que se refiere al control aeróbico de los ambientes, con el objeto de conservar la calidad del aire a través de sistemas de ventilación y presurización que permitan garantizar la higiene en todas las operaciones desarrolladas en el esquema productivo y la inocuidad del producto terminado. Por esta razón el aire debe mantener las condiciones indispensables para evitar cualquier tipo de contaminación durante toda la corrida de producción. Para analizar esta necesidad, se tomará como analogía un estudio de caso desarrollado en el 2006, en una empresa productora de leche en polvo ubicada en Argentina, la cual expone ciertas analogías con el esquema de producción de la planta propuesta en este trabajo, de modo que este sistema sirva de arquetipo para describir el equipo de ventilación y presurización forzada que se empleará en la configuración en planta de la presente fábrica.

En este sentido, se utilizará un equipo de inyección, tratamiento y filtrado que cuenta con un sistema de baterías de intercambio térmico por vapor y agua fría con válvulas de regulación apto para mantener las condiciones de 20 °C y 50% de humedad relativa, moto-ventiladores centrífugos auto-limitantes de potencia de doble aspiración, filtros plisado de mediana eficiencia y un filtro final marca Casiba de 95% de eficiencia para partículas de 0,3 micrones. El caudal suministrado permite mantener el sector con una presión positiva entre 20 y 30 pascales, evitando el ingreso de aire no deseado por aberturas e intersticios. Estos equipos cuentan con Visera anti lluvia con dampers fijos, estructuras porta-filtros Casiba GP con accesos en ambos laterales, filtros metálicos lavables CASIBA AV-2, filtros plisados de mediana eficiencia CASIBA PREFIL-4, filtros de alta eficiencia marca CASIBA VC-8 de 99 % de arrestancia y 95 % de eficiencia, según norma ASHRAE 52-1-92 como última etapa, estructura soporte auto

portante construido con perfiles normalizados de acero UPN 8, piezas de transición, junta elástica y moto ventilador principal centrífugo, auto limitante de potencia clase I, directamente acoplado a su respectivo motor eléctrico trifásico de 380 V, 50 Hz y regulador principal de caudal de alabes opuestos. La distribución se realizará mediante un conducto exterior y bocas de ingreso con rejas de inyección ubicadas en las ventanas. Se colocarán también salidas de aire caliente en los niveles superiores con filtros de alta eficiencia, favoreciendo de esta manera las corrientes internas por diferencia de densidades. [Considere las siguientes tablas en las que se exponen tanto la configuración típica en planta de estos dispositivos, como las características técnicas de los mismos].

5.5.12.2 Localización del Sistema de Ventilación y Presurización de la Planta.

Debido a la envergadura y a las características de este equipo secundario, las cuatro unidades necesarias para la purificación del aire de la planta, serán ubicadas en un lugar estratégicamente dispuesto en la azotea del edificio, con el propósito de aprovechar las ventajas de filtrado y control aeróbico de ambientes que ofrecen este tipo de dispositivos.







Figura 26 Disposición Característica del Sistema de Ventilación y Presurización

Fuente: www.casiba.com.ar.

▪ **Especificaciones Técnicas del Sistema de Ventilación y Presurización de la Planta Seleccionado:**

Tabla 56

Características Técnicas de la Sistema de Ventilación y Presurización Casiba

Sistema de Ventilación y Presurización de la Planta																					
	<p>Fabricante: </p> <table border="1"> <tr> <td>Peso aproximado:</td> <td>246 Kg</td> </tr> <tr> <td>Velocidad máxima:</td> <td>2750 (r/min)</td> </tr> <tr> <td>Potencia instalada:</td> <td>3 kW</td> </tr> <tr> <td>Temperatura máxima del aire a transportar:</td> <td>Min: - 20°C Max: +85°C</td> </tr> <tr> <td>Peso Neto:</td> <td>310 Kg</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>980 mm [0,98 mts]</td> </tr> <tr> <td>Ancho:</td> <td>1447 mm [1,447 mts]</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>1303 mm [1,303 mts]</td> </tr> <tr> <td>Área ocupada por la Bomba:</td> <td>1,885441 mts²</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Material</td> <td>Acero al carbón, acero inoxidable</td> </tr> </table>	Peso aproximado:	246 Kg	Velocidad máxima:	2750 (r/min)	Potencia instalada:	3 kW	Temperatura máxima del aire a transportar:	Min: - 20°C Max: +85°C	Peso Neto:	310 Kg	Longitud:	980 mm [0,98 mts]	Ancho:	1447 mm [1,447 mts]	Altura:	1303 mm [1,303 mts]	Área ocupada por la Bomba:	1,885441 mts ²	Tipo de Material	Acero al carbón, acero inoxidable
Peso aproximado:	246 Kg																				
Velocidad máxima:	2750 (r/min)																				
Potencia instalada:	3 kW																				
Temperatura máxima del aire a transportar:	Min: - 20°C Max: +85°C																				
Peso Neto:	310 Kg																				
Longitud:	980 mm [0,98 mts]																				
Ancho:	1447 mm [1,447 mts]																				
Altura:	1303 mm [1,303 mts]																				
Área ocupada por la Bomba:	1,885441 mts ²																				
Tipo de Material	Acero al carbón, acero inoxidable																				

Fuente: Elaboración Propia en base a Información Técnica del Fabricante Casiba S.A. www.casiba.com.ar.

5.6 Balanceamiento de la Línea de Producción

El balance o balanceo de línea es una de las herramientas más importantes para el control de la producción, dado que de una línea de fabricación equilibrada depende la optimización de ciertas variables que afectan la productividad de un proceso, variables tales como los tiempos de fabricación y las entregas parciales de la producción.

Para desarrollar este proceso primero que todo es fundamental considerar que el esquema productivo que se está diseñando tiene proyectada una demanda de 1780 toneladas de leche en polvo al año; además en dicha planta se cumplen 2 jornadas de trabajo al día de 8 horas cada turno en el esquema laboral de lunes a sábado, lo que representa un total de 16 horas de actividad, de las cuales 14 horas corresponden al periodo de corrida de producción diaria desarrollado por las máquinas, con lo cual se busca cumplir con las metas trazadas de producción con los recursos con los que cuenta la planta en el periodo de un año. En este punto del análisis es importante tener en cuenta que se tomará como referencia los 299 días laborales del presente año, para calcular el valor de la capacidad diaria que debe tener la fábrica para poder cumplir al final del año con la meta inicialmente trazada, por lo tanto se procederá a desarrollar un análisis matemático para cada una de las etapas consideradas, de tal modo que sea posible estimar la cantidad de máquinas necesarias en el diseño de la fábrica y los tiempos de ciclos implicados en sus procesos.

En primer lugar considere,

$C = \text{Capacidad anual de la fábrica.}$

$$C = \frac{1780 \text{ Tons}}{\text{Año}}$$

O bien,

$$C = \frac{1.780.000 \text{ Kgr}}{\text{Año}}$$

Ahora bien para sintetizar un 1 *Kgr* de leche en polvo se precisa de 8 litros de leche fresca, por lo tanto se estima que para la demanda de $\frac{1780 \text{ Tons}}{\text{Año}}$ de producto lácteo deshidratado y listo para el consumo, se requiere la siguiente cantidad de leche fluida para el horizonte de producción de un año.

Sea, $Q =$ *La cantidad de leche fresca requerida en un año.*

Si 1 Kgr de leche en polvo \rightarrow 8 Litros de leche fresca

1.780.000 Kgr de leche en polvo \rightarrow Q

Por lo tanto;

$$Q = \frac{1.780.000 \text{ Kgr de leche en polvo} \times 8 \text{ Litros de leche fresca}}{1 \text{ Kgr de leche en polvo}}$$

$$Q = \frac{14.240.000 \text{ Litros de leche fresca}}{\text{año}}$$

Por otro lado, es importante recordar que la empresa desarrollará su tarea productiva en un periodo de 299 días, por lo que la producción para el horizonte anual se segrega así:

Sea,

T = Número de días de actividad productiva anual de la industria.

$$T = \frac{299 \text{ Días}}{\text{Año}}$$

Sea,

P = Capacidad productiva diaria de la fábrica

$$P = \frac{C}{T}$$

$$P = \frac{\frac{1780 \text{ Tons}}{\text{Año}}}{\frac{299 \text{ Días}}{\text{Año}}}$$

$$P = \frac{5.953177258 \text{ Tons}}{\text{Día}} \cong \frac{6 \text{ Tons}}{\text{Día}}$$

Para efectos prácticos de análisis es importante determinar el equivalente en horas de la tasa de producción requerida al día en la planta, para lo que se precisa considerar la siguiente relación matemática, partiendo de la noción de que en la fábrica el día laboral corresponde a 14 horas de corrida productiva de las maquinas dividida en dos jornadas, por lo que se obtiene el siguiente valor equivalente:

$$\frac{6 \text{ Tons}}{\text{Día}} \times \frac{1 \text{ Día}}{14 \text{ Hora}} = \frac{0,4285714286 \text{ Tons de leche en polvo}}{\text{Hora}}$$

O bien,

$$\frac{428,5714286 \text{ Kgr de leche en polvo}}{\text{Hora}}$$

Por lo tanto para extraer tal cantidad de producto terminado en la planta, se necesitará un volumen de 48.000 *Lts* o 48 m^3 de leche fresca al día, considerando la razón de equivalencia entre la leche fluida y el producto deshidratado anteriormente empleada. Esta cantidad será fundamental para realizar el cálculo de los requerimientos de máquinas necesarios en las etapas iniciales de la línea de producción, en las cuales se trabaja con el insumo en su estado líquido.

5.6.1 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Pasteurización.

Para analizar esta etapa, es importante tener en cuenta que el sistema Tetra Therm Lacta 1, que se empleará como dispositivo crítico de pasteurización tiene una capacidad nominal de 20.000 *Lts/hr*, mientras que los requerimientos de demanda del esquema productivo estudiado, precisa de realizar la esterilización parcial a los 48.000 *Lts* de leche cruda que arriban cada al día a la planta productora. En este sentido a continuación se desarrollará el cálculo para determinar el tiempo empleado por esta unidad para cumplir con los requerimientos de

producción diaria planteados, lo cual permitirá intuir la cantidad de dispositivos necesarios para hacerle el tratamiento de higienización a tal cantidad de leche cruda y balancear adecuadamente el sistema.

Considere:

Tabla 57

Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Pasteurizador

Criterios Considerados	Valor
Capacidad del Sistema Pasteurizador	$C_p = \frac{20.000 \text{ Lts}}{\text{hora}}$
Volumen de Leche Cruda que Ingresa al Sistema Pasteurizador	48.000 Lts

Fuente: Elaboración Propia

Empleado la razón de equivalencia de tiempos entre horas y minutos es posible obtener el correspondiente valor de capacidad de la máquina para un periodo de un minuto:

$$C_p = \frac{333,33 \text{ Lts}}{\text{Minuto}}$$

De este modo es posible deducir que el Tiempo del ciclo de pasteurización T_p esta dado por la siguiente relación:

$$\text{Si } 333,33 \text{ Lts} \rightarrow 1 \text{ Minuto}$$

$$48.000 \text{ Lts} \rightarrow T_p$$

$$T_p = \frac{48.000 \text{ Lts} \times 1 \text{ Minuto}}{333,33 \text{ Lts}}$$

$$T_p = 144 \text{ Minutos}$$

Lo que equivale a,

$$T_p = 2,4 \text{ horas}$$

Por otra parte, para estimar el número de máquinas de pasteurización realmente necesarias para desarrollar las tareas de esterilización de los 48.000 Lts de leche cruda que arriban cada día laboral al esquema productivo analizado, se procederá a considerar la expresión

para el cálculo del dato de balance, la cual ofrece una noción cuantitativa de la cantidad de recursos de máquinas necesarios para realizar cierta tarea en función de la demanda o producción requerida y la capacidad de producción real del sistema.

Sea $D.B = \text{Dato de Balance}$.

$$D.B = \frac{\text{Producción Requerida}}{\text{Capacidad de Producción Real}}$$

Luego considerando la capacidad del pasteurizador seleccionado y el hecho de que este dispositivo puede trabajar en modo continuo durante toda la jornada y sabiendo que en el esquema analizado se tienen estipulada una política de 14 horas de corrida de producción al día, es posible determinar la capacidad de producción real que este dispositivo es capaz de ejecutar en un día, con lo cual será posible estimar el dato de balance.

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{20.000 \text{ Lts}}{\text{hora}} \times \frac{14 \text{ hora}}{\text{Día}}$$

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{280.000 \text{ Lts}}{\text{Día}}$$

$$D.B = \frac{\frac{48.000 \text{ Lts}}{\text{Día}}}{\frac{280.000 \text{ Lts}}{\text{Día}}}$$

$$D.B = 0,1714285714$$

Por lo tanto, como el dato de balance está por debajo de la unidad se concluye que empleando un solo equipo del sistema Tetra Therm Lacta 1, es posible esterilizar los 48.000 Lts de leche cruda necesarios para la producción diaria de las 6 toneladas de leche en polvo en 2 horas con 24 minutos.

5.6.2 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Evaporadores.

El arreglo de tubos evaporadores Tetra Magna considerado para la presente planta está compuesto por tres columnas verticales intercambiadoras de calor las cuales tiene una capacidad de concentración de la leche previamente pasteurizada de 19.361 *Lts/hr*, en este sentido, considerado tanto las políticas de la empresa, como la demanda diaria del producto terminado, a continuación se desarrollará el cálculo para determinar el tiempo empleado por esta unidad para cumplir con la producción diaria planteada, de tal modo de que sea posible estimar los requerimientos de esta máquina necesarios para evaporar diariamente los 48.000 *Lts* del fluido lácteo involucrado en el proceso.

Considere:

Tabla 58

Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento de los Evaporadores

Criterios Considerados	Valor
Capacidad del Sistema de Evaporadores	$C_E = \frac{19.361 \text{ Lts}}{\text{hora}}$
Volumen de Leche Pasteurizada que Ingres a los Evaporadores	48.000 <i>Lts</i>

Fuente: Elaboración Propia

Empleado la razón de equivalencia de tiempos entre horas y minutos es posible obtener el correspondiente valor de capacidad de la máquina para un periodo de un minuto:

$$C_E = \frac{322,68333 \text{ Lts}}{\text{Minuto}}$$

Por lo tanto se estima que el tiempo del ciclo de evaporación T_E esta dado por la siguiente relación:

$$\text{Si } 322,68333 \text{ Lts} \rightarrow 1 \text{ Minuto}$$

$$48.000 \text{ Lts} \rightarrow T_p$$

$$T_E = \frac{48.000 \text{ Lts} \times 1 \text{ Minuto}}{322,68333 \text{ Lts}}$$

$$T_E = 148,75 \text{ Minutos}$$

Lo que equivale a,

$$T_E = 2,479 \text{ horas}$$

Considerando la capacidad del sistema de concentración de la leche y el hecho de que este dispositivo térmico puede trabajar en modo continuo durante toda la jornada estipulada, es posible determinar la capacidad de producción real que este arreglo de tubos es capaz de ejecutar en un día, con lo cual será posible estimar el dato de balance buscado.

$$D.B = \frac{\textit{Producción Requerida}}{\textit{Capacidad de Producción Real}}$$

Donde la capacidad de producción diaria del sistema está dada por la siguiente expresión:

$$\textit{Capacidad de Producción Real} = \frac{19.361 \text{ Lts}}{\textit{hora}} \times \frac{14 \text{ hora}}{\textit{Día}}$$

$$\textit{Capacidad de Producción Real} = \frac{271.054\text{Lts}}{\textit{Día}}$$

$$D.B = \frac{\frac{48.000 \text{ Lts}}{\textit{Día}}}{\frac{271.054\text{Lts}}{\textit{Día}}}$$

$$D.B = 0,1770864846$$

Como el dato de balance está por debajo de la unidad, se concluye que empleando un solo arreglo de evaporadores Tetra Magna, es posible concentrar los 48.000 Lts de leche previamente pasteurizada necesarios para la producción diaria de las 6 toneladas de leche en polvo en aproximadamente 2 horas con 29 minutos.

5.6.3 Análisis de Balanceamiento del Equipo de Atomización o de Secado Spray.

Con el fin de efectuar el análisis de esta fase del proceso productivo, es necesario tener en cuenta que la capacidad del equipo de atomización Tetra Pak Spray Dryer Tall Wide Body, coincide con la tasa secado de 12.000 *Lts/hr*; sin embargo los requerimientos de demanda del esquema productivo precisan de realizar la deshidratación de todo el fluido lácteo que sale de los evaporadores, el cual tiene una proporción de 50% menos de humedad, respecto a la leche sin tratar que ingresa a la línea de producción; de este modo para poder cumplir con la capacidad de producción de los 6000 *kgr* del leche en polvo diaria que se deben de fabricar para cumplir con la meta propuesta para el horizonte anual, se debe considerar que el volumen que sale del sistema de evaporadores es de 24.000 *Lts* de leche concentrada por lo que esta será la cantidad de fluido considerada en el análisis de este dispositivo.

Considere:

Tabla 59

Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Atomizador

Criterios Considerados	Valor
Capacidad del Equipo Spray-Dryer	$C_p = \frac{12.000 \text{ Lts}}{\text{hora}}$
Volumen de Concentrado de Leche que Ingresa al Atomizador	24.000 <i>Lts</i>

Fuente: Elaboración Propia

Recurriendo a la razón de equivalencia de tiempos entre horas y minutos es posible obtener el correspondiente valor de capacidad de la máquina para un periodo de un minuto:

$$C_s = \frac{200 \text{ Lts}}{\text{Minuto}}$$

Por ende, el tiempo del ciclo T_s estimado para que el equipo desarrolle el proceso de deshidratación de los 24.000 *Lts* de concentrado de leche se simplifica en la siguiente relación matemática:

$$\begin{aligned} \text{Si } 200 \text{ Lts} &\rightarrow 1 \text{ Minuto} \\ 24.000 \text{ Lts} &\rightarrow T_S \end{aligned}$$

$$T_P = \frac{24.000 \text{ Lts} \times 1 \text{ Minuto}}{200 \text{ Lts}}$$

$$T_S = 120 \text{ Minutos}$$

Lo que equivale a,

$$T_S = 2 \text{ horas}$$

Ahora bien, teniendo en cuenta la capacidad del equipo de atomización empleado y considerando el hecho de que este dispositivo térmico puede trabajar en modo continuo durante toda la jornada estipulada, es posible determinar la capacidad de producción real que esta máquina es capaz de desarrollar en un día de trabajo, con lo cual será posible estimar el dato de balance necesitado.

$$D.B = \frac{\textit{Producción Requerida}}{\textit{Capacidad de Producción Real}}$$

Donde la capacidad de producción diaria del spray está dada por la siguiente expresión:

$$\textit{Capacidad de Producción Real} = \frac{12.000 \text{ Lts}}{\textit{hora}} \times \frac{14 \text{ hora}}{\textit{Día}}$$

$$\textit{Capacidad de Producción Real} = \frac{168.000 \text{ Lts}}{\textit{Día}}$$

$$D.B = \frac{\frac{24.000 \text{ Lts}}{\textit{Día}}}{\frac{168.000 \text{ Lts}}{\textit{Día}}}$$

$$D.B = 0,1428571429$$

De este modo, como el dato de balance está por debajo de la unidad, se concluye que empleando un solo sistema de atomización Tetra Pak Spray Dryer Tall Wide Body, es posible secar los 24.000 Lts de concentrado de leche que salen del arreglo de evaporadores en solo 2 horas, cumpliendo de esta forma con la demanda diaria requerida por el esquema de producción.

5.6.4 Análisis de Balanceamiento del Lecho de Fluido Externo o Vibrofluidificador.

Para efectuar el análisis de balanceo de línea del lecho de fluidizado externo de la serie Niro fabricado por el grupo alemán GEA dentro de la configuración considerada, se debe primero que todo tener en cuenta el cambio de fase que sufre la leche fluida en la anterior etapa, pasando de un estado de líquido concentrado, al de partículas sólidas ligeramente húmedas, además de esto es vital tener en cuenta que el desempeño de esta cámara de separación y secado de partículas tiene una capacidad de producción de 2.300 kgr/hr de polvo segregado, por lo que para estimar el tiempo que le toma concluir el proceso de secado y separación de los 6000 kgr de polvo lácteo que salen como resultado del proceso de atomización anteriormente descrito, se debe de considerar el análisis aritmético descrito a continuación.

Considere:

Tabla 60

Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Lecho de Fluidizado

Criterios Considerados	Valor
Capacidad del Lecho Vibrofluidificador	$C_v = \frac{2.300 \text{ kgr}}{\text{hora}}$
Masa de Leche en Polvo que Ingresa al Lecho Vibrofluidificador	6000 kgr

Fuente: Elaboración Propia

Empleado la razón de equivalencia de tiempos entre horas y minutos es posible obtener el correspondiente valor de capacidad de la máquina para un periodo de un minuto:

$$C_v = \frac{38.333 \text{ kgr}}{\text{Minuto}}$$

De este modo, el tiempo del ciclo estimado para que el equipo desarrolle el proceso de segregación de los 6000 kgr de polvo de leche se simplifica en la siguiente relación matemática.

$$\text{Si } 38.333 \text{ kgr} \rightarrow 1 \text{ Minuto}$$

$$6000 \text{ kgr} \rightarrow T_v$$

$$T_v = \frac{6000 \text{ kgr} \times 1 \text{ Minuto}}{38.333 \text{ kgr}}$$

$$T_v = 156,52 \text{ Minutos}$$

Lo que equivale a,

$$T_v = 2,6 \text{ horas}$$

Ahora bien, considerando la capacidad del lecho de fluido externo seleccionado y teniendo en cuenta que este dispositivo puede trabajar en modo continuo durante toda la jornada estipulada, es posible calcular la capacidad de producción real que esta máquina es capaz de desarrollar en un día, con lo cual será posible estimar el dato de balance necesitado.

$$D.B = \frac{\text{Producción Requerida}}{\text{Capacidad de Producción Real}}$$

Donde la capacidad de producción diaria del vibrofluidificador está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{2.300 \text{ kgr}}{\text{hora}} \times \frac{14 \text{ hora}}{\text{Día}}$$

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{32.200 \text{ kgr}}{\text{Día}}$$

$$D.B = \frac{\frac{6000 \text{ kgr}}{\text{Día}}}{\frac{32.200 \text{ kgr}}{\text{Día}}}$$

$$D.B = 0,1863354037$$

De este modo, como el dato de balance está por debajo de la unidad, se concluye que empleando un solo lecho de fluido externo de la serie Niro, es posible separar los 6000 kgr de leche en polvo en aproximadamente 2 horas con 36 minutos.

5.6.5 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Empacado.

Para analizar la etapa de empacado, hay que considerar que tanto la capacidad nominal de la maquina fabricada por el grupo italiano PFM y seleccionada para efectuar esta tarea, es de 60 Ciclos por minuto, es decir, 60 Bolsas/Minuto como también se debe tener en cuenta que se precisa de empacar 6000 kgr de leche en polvo en bolsas de película flexible de 1 kgr cada una, por lo que los requerimientos de este dispositivo con relación al esquema de la fábrica están ajustados al análisis descrito a continuación.

Considere:

Tabla 61

Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Sistema de Empacado

Criterios Considerados	Valor
Capacidad del Sistema de Empaque	60 Bolsas Minuto
Masa de Leche en Polvo que Ingresa al Sistema de Empaque	6000 kgr

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto el tiempo del ciclo estimado para que el equipo desarrolle el proceso de empacado de los 6000 kgr de polvo de leche en bolsas de presentación comercial de 1 kgr se simplifica en la siguiente relación matemática:

$$\begin{aligned} \text{Si } 60 \text{ Bolsas} &\rightarrow 1 \text{ Minuto} \\ 6000 \text{ Bolsas} &\rightarrow T_{PQ} \end{aligned}$$

$$T_{PQ} = \frac{6000 \text{ Bolsas} \times 1 \text{ Minuto}}{60 \text{ Bolsas}}$$

$$T_{PQ} = 100 \text{ Minutos}$$

Lo que equivale a,

$$T_{PQ} = 1,66 \text{ horas}$$

Por otro lado, teniendo en cuenta la capacidad de la máquina de empaquetado seleccionada y considerando el hecho de que este dispositivo puede trabajar en modo continuo durante toda la jornada estipulada, es posible determinar la capacidad de producción real que este equipo es capaz de desarrollar en un día, con lo cual será posible calcular el dato de balance requerido.

$$D.B = \frac{\text{Producción Requerida}}{\text{Capacidad de Producción Real}}$$

Donde la capacidad del sistema de empaquetado está condicionada por la siguiente relación:

$$\frac{60 \text{ Bolsas}}{\text{Minuto}} \times \frac{60 \text{ Minutos}}{1 \text{ Hora}} = \frac{3600 \text{ Bolsas}}{\text{Hora}}$$

Por ende la capacidad producción diaria que la empacadora puede ejecutar se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{3600 \text{ Bolsas}}{\text{Hora}} \times \frac{14 \text{ hora}}{\text{Día}}$$

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{50.400 \text{ Bolsas}}{\text{Día}}$$

$$D.B = \frac{\frac{6000 \text{ Bolsas}}{\text{Día}}}{\frac{50.400 \text{ Bolsas}}{\text{Día}}}$$

$$D.B = 0,119047619$$

De esta manera como el dato de balance está por debajo de la unidad, se concluye que empleando una sola máquina de empaqueo PFM, es posible empaquetar los 6000 *kgr* de leche en polvo en bolsas de película flexible de 1 *kgr* en aproximadamente 1 hora con 40 minutos.

5.6.6 Análisis de Balanceamiento del Sistema de Paletización.

El análisis de la etapa de paletización, involucra tanto la consideración de la capacidad de la maquina Premier SPLX MKI empleada en la fábrica, la cual posee una tasa mínima de trabajo de 35 *Cajas/Minuto*, y la noción de que de acuerdo con las políticas de la empresa se tendrán que paletizar 600 cajas de cartón corrugado Kraft de 10 *kgr* en estibas de madera, por lo que los requerimientos de este dispositivo con relación al esquema productivo, están ajustados al análisis descrito a continuación.

Considere:

Tabla 62

Variables Consideradas en el Análisis de Balanceamiento del Sistema de Paletización

Criterios Considerados	Valor
Capacidad del Sistema de Empaque	$\frac{35 \text{ Cajas}}{\text{Minuto}}$
Numero de Cajas de Cartón que Ingresan al Sistema de Paletización	600 Cajas

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el tiempo del ciclo estimado para que el equipo desarrolle el proceso de paletización de las 600 *Cajas* de cartón corrugado de 10*kgr* cada una se simplifica en la siguiente relación aritmética:

Si 35 Cajas → 1 Minuto

600 Cajas → T_N

$$T_N = \frac{600 \text{ Cajas} \times 1 \text{ Minuto}}{35 \text{ Cajas}}$$

$$T_N = 17,14 \text{ Minutos}$$

Lo que equivale a,

$$T_N = 0,285 \text{ horas}$$

Posteriormente teniendo en cuenta la capacidad del sistema de paletización seleccionado y considerando el hecho de que esta máquina puede trabajar en modo continuo durante toda la jornada estipulada, es posible determinar la capacidad de producción real que este equipo es capaz de desarrollar en un día, con lo cual será posible calcular el dato de balance necesitado.

$$D.B = \frac{\text{Producción Requerida}}{\text{Capacidad de Producción Real}}$$

Donde la capacidad del sistema de paletización está condicionada por la siguiente relación:

$$\frac{35 \text{ Cajas}}{\text{Minuto}} \times \frac{60 \text{ Minutos}}{1 \text{ Hora}} = \frac{2100 \text{ Cajas}}{\text{Hora}}$$

Por ende, la capacidad producción diaria que la máquina de paletización puede ejecutar se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{2100 \text{ Cajas}}{\text{Hora}} \times \frac{14 \text{ hora}}{\text{Día}}$$

$$\text{Capacidad de Producción Real} = \frac{29.400 \text{ Cajas}}{\text{Día}}$$

$$D.B = \frac{\frac{600 \text{ Cajas}}{\text{Día}}}{\frac{29.400 \text{ Cajas}}{\text{Día}}}$$

$$D.B = 0,02040816327$$

De esta forma, considerando que el dato de balance está por debajo de la unidad, es posible concluir que empleando una sola máquina de paletización Premier, es posible embalar las 600 cajas de producto terminado en aproximadamente 17,14 *Minutos* o 0,285 *horas*.

5.6.7 Resumen del Proceso de Balanceamiento.

Considere las siguientes tablas y graficas donde se resumen tanto los principales resultados obtenidos a través del proceso de balance de la línea, como también los tiempos de preparación asociados a cada una de las máquinas involucradas en el proceso productivo de la leche en polvo, tanto en minutos como en horas.

Tabla 63

Resumen del Proceso de Balanceamiento en Minutos

Maquina Analizada	Tiempo de Corrida [Min]	Tiempo de Set-Up [Min]	Tiempo de Operación [Min]	Dato de Balance	Cantidad de Máquinas Empleadas [Uds]
Sistema Pasteurizador	144	10	154	0,1714285714	1
Sistema de Evaporadores	148.75	10	158.75	0,1770864846	1
Atomizador [Spray-Dryer]	120	10	130	0,1428571429	1
Vibrofluidificador	156.52	5	161.52	0,1863354037	1
Máquina de Empacado	100	5	105	0,119047619	1
Máquina de Paletización	17.14	10	27.14	0,02040816327	1
TOTAL	686.41	50	736.41	--	6

Fuente: *Elaboración Propia.*

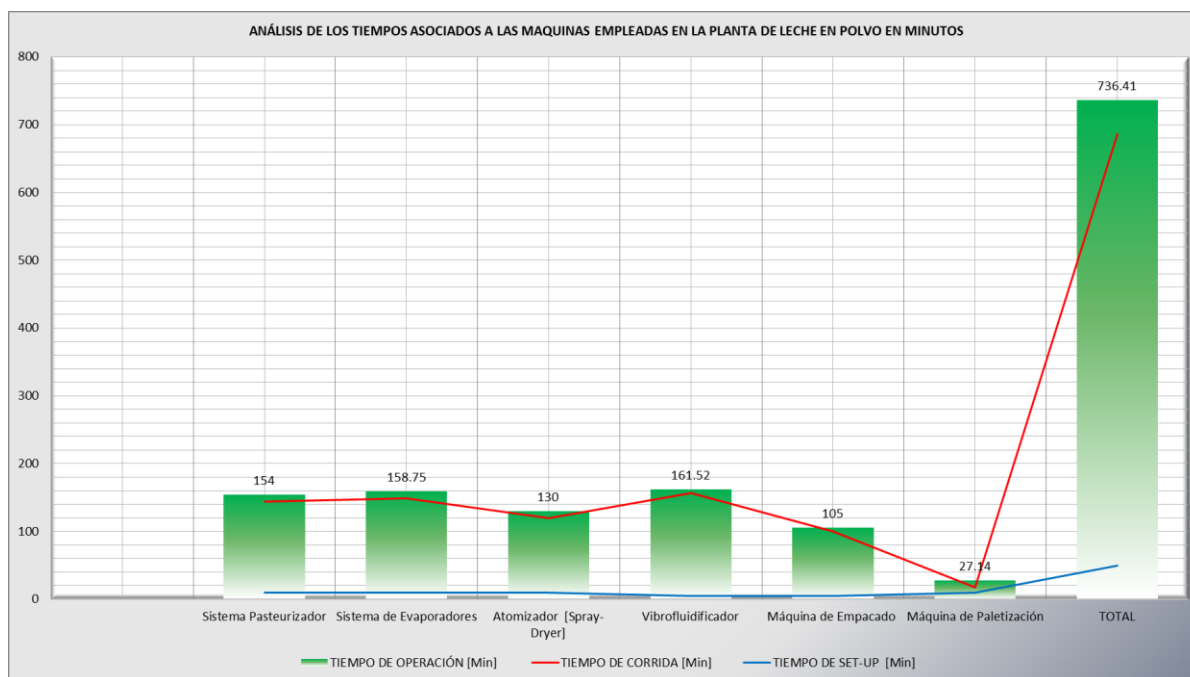


Figura 27 Análisis de los Tiempos Asociados a las Maquinas en Minutos

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 64

Resumen del Proceso de Balanceamiento en Horas

MAQUINA ANALIZADA	TIEMPO DE CORRIDA [Horas]	TIEMPO DE SET-UP [Horas]	TIEMPO DE OPERACIÓN [Horas]	DATO DE BALANCE	CANTIDAD DE MÁQUINAS EMPLEADAS [Uds]
Sistema Pasteurizador	2.40	0.17	2.57	0,1714285714	1
Sistema de Evaporadores	2.48	0.17	2.65	0,1770864846	1
Atomizador [Spray-Dryer]	2.00	0.17	2.17	0,1428571429	1
Vibrofluidificador	2.61	0.08	2.69	0,1863354037	1
Máquina de Empacado	1.67	0.08	1.75	0,119047619	1
Máquina de Paletización	0.29	0.17	0.45	0,02040816327	1
TOTAL	11.44	0.83	12.27	--	6

Fuente: Elaboración Propia.

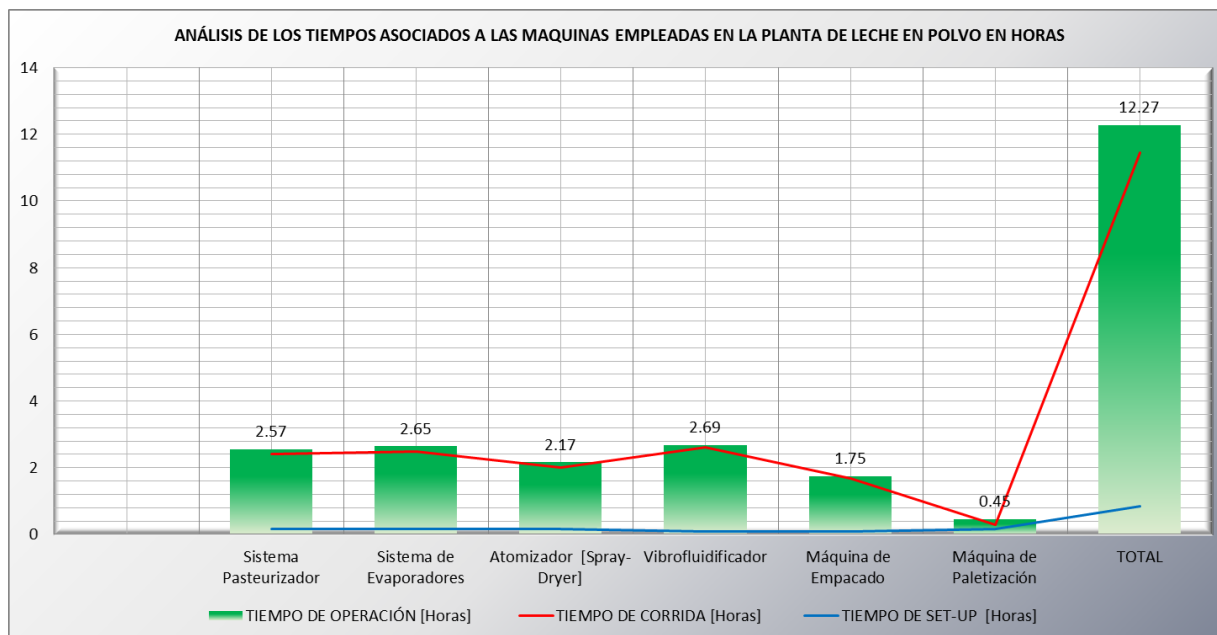


Figura 28 Análisis de los Tiempos Asociados a las Maquinas en Horas
 Fuente: Elaboración Propia.

5.6.8 Tiempo Empleado para Descargar la Leche en el Silo de Almacenamiento de Leche Cruda.

De acuerdo con lo observado en esquemas análogos en empresas de producción de leche en polvo, las cuales emplean un proceso de acopio del producto lácteo sin tratar, usando un plano inclinado de 25° y camiones cisterna de suministro de capacidades semejantes, es posible concluir que el proceso de almacenamiento del producto en el tanque vertical dura alrededor de 2.5 hora o 150 minutos, empleando un esquema de conexión de los 5 camiones en paralelo al tubo principal de suministro de 8 pulgadas o 0.2032 metros de diámetro y 10.57 metros de longitud; minimizando de esta forma el tiempo requerido para desarrollar esta operación.

5.6.9 Tiempo Necesario para Acomodar los 8 Pallets en la Bodega.

En concordancia con las características del vehículo de carga empleado para desarrollar esta tarea y considerando las distancias recorridas, la seguridad del personal, el equipo de trabajo decidió asignar un tiempo medio de 40 minutos al desarrollo de esta actividad, en el cual se deberá llevar a cabo el acomodo de los 8 pallets generados en el esquema de producción diario.

5.6.10 Tiempo Promedio Requerido en el Desarrollo de un Día de Producción.

Considere las siguientes tablas en las que se sintetiza el tiempo promedio requerido para efectuar las tareas diarias necesarias que se deben efectuar para poder cumplir con las metas de producción anual trazadas por la firma:

Tabla 65

Tiempo Promedio Requerido para Efectuar las Tareas Productivas en Minutos

Tiempo Total de Corrida de las Maquinas [Min]	Tiempo Total de Set-Up [Min]	Tiempo de Descarga de la Leche Cruda [Min]	Tiempo Estimado para Acomodar los Pallets [Min]	Total Tiempo [Min]
686.41	50	150	40	926.41

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 66

Tiempo Promedio Requerido Para Efectuar Las Tareas Productivas En Horas

Tiempo Total de Corrida de las Maquinas [Horas]	Tiempo Total de Set-Up [Horas]	Tiempo de Descarga de la Leche Cruda [Horas]	Tiempo Estimado para Acomodar los Pallets [Horas]	Total Tiempo [Horas]
11.44	0.83	2.5	0.667	15.440

Fuente: *Elaboración Propia*

Finalmente se concluye que el tiempo de 926.41 minutos equivalente a 15.440 horas justifica la decisión del equipo de trabajo de emplear 16 horas de actividad al día. Este tiempo será el periodo de evaluación empleado para desarrollar el análisis de simulación en la plataforma de FlexSim, con el objetivo de contrastar el comportamiento del esquema productivo calculado teóricamente con los resultados obtenidos a través de esta herramienta de simulación asistida.

5.7 Diseño del Esquema de Distribución en Planta.

El método de planificación sistemática de la distribución en planta [Systematic Layout Planning], desarrollado por Richard Muther, parte de la consideración de que la planta industrial es un sistema compuesto por la interrelación de múltiples elementos, los cuales definen el tipo y la configuración del esquema productivo que se está analizando, con el objeto de encontrar la mejor disposición de las áreas de trabajo y del equipo en aras de conseguir no solo la máxima economía en el trabajo, sino también la mayor seguridad y satisfacción de los encargados del proceso productivo. En este sentido en el presente apartado se describe el proceso metodológico para determinar la configuración en planta, de la industria de procesamiento para la obtención de leche en polvo, a partir de la lógica propuesta por Muther, en la cual se desarrolla un proceso de análisis por fases que permiten seleccionar una distribución que se ajuste directamente a las necesidades y capacidades de la planta analizada.[Considere la siguiente tabla en la que se describen las actividades o departamentos que serán considerados en el proceso de planificación de la planta].

Tabla 67

Descripción de las Actividades Desarrolladas en Cada Departamento

Numeración.	Actividad o Departamento.	Descripción General.
1	Recepción.	En este departamento no solo se hace tanto la recepción y la inspección de la leche cruda, sino que también se reciben todos aquellos insumos complementarios como los rollos de película flexible para elaborar el empaque de la leche en polvo, y las cajas de cartón corrugado kraft necesarias para la distribución y comercialización del producto terminado.
2	Almacenamiento.	Comprende el almacenamiento temporal de la leche si tratar en un silo especialmente adecuado para esta tarea.
3	Pasteurización.	Esta actividad comprende tanto el proceso de pasteurización o higienización de la leche, como el almacenamiento temporal de la misma en un tanque aséptico.
4	Evaporación.	Es la concentración de la leche

		previamente pasteurizada en evaporadores multi-efecto, hasta convertirla en un concentrado al 50% de humedad que será temporalmente almacenado en un tanque o buffer de regulación.
5	Secado y Enfriamiento.	Comprende todo el proceso de deshidratación del concentrado de leche, hasta convertirlo en un polvo seco y segregado a temperatura ambiente que es almacenado temporalmente en un silo acondicionado para este propósito.
6	Empaque y Embalaje.	Consiste fundamentalmente en colocar el producto terminado en bolsas protectoras, que serán embaladas en cajas para su posterior paletizado.
7	Bodega.	En este departamento se desarrolla la logística que incluye las actividades relacionadas con el almacenaje, protección y custodia de los productos terminados.
8	Envíos.	Es la actividad de liberación de los productos terminados para su comercialización y consumo.
9	Control de Calidad.	Comprende el área de laboratorio donde se desarrollan tanto las pruebas preliminares de la leche cruda que arriba a la industria, como también los ensayos y validaciones de solubilidad y calidad que se le hacen al producto lácteo sintetizado.
10	Baños y Lockers.	Área donde se ubican tanto los servicios sanitarios como también los casilleros del personal de la planta.
11	Cafetería.	Área orientada al suministro de alimentos para el personal de la planta durante los periodos de descanso.
12	Oficinas.	Espacio orientado al desarrollo tanto de las actividades directivas y administrativas, como de la supervisión y el control remoto de los procesos del esquema productivo.
13	Mantenimiento y Servicios.	Esta área comprende tanto los servicios del personal de mantenimiento de equipos como de aquellos encargados de prestar servicios generales.
14	Enfermería.	Área donde se prestan los servicios de atención y cuidado del personal que presenta eventualidades en su salud.

Fuente: *Elaboración Propia.*

5.7.1 Análisis de la Relación entre Actividades para Determinar el Esquema de Distribución en Planta Inicial.

En el presente apartado se procederá a describir los pasos desarrollados para determinar el esquema inicial de distribución en planta para la fábrica de leche en polvo analizada en el presente informe, a partir de las directrices del proceso de Planificación Sistemática de Distribución en Planta o [Systematic Layout Planing] propuesto por Richard Muther, el cual tiene como objetivo principal el satisfacer la mayor cantidad de relaciones importantes entre los departamentos que componen a una organización, con el fin de crear un esquema de distribución lo más eficiente posible. El uso de esta técnica metodológica permitió que el equipo de trabajo identificara tres potenciales esquemas adecuados para el diseño de la planta analizada, los cuales posteriormente fueron sometidos a un proceso de análisis y selección con el fin de filtrar la configuración más eficiente que permitiera situar cada departamento productivo, cada oficina y áreas de servicios asociadas a la fábrica de leche en polvo de una forma apropiada y ajustada a los intereses del equipo de diseño. En este orden de ideas, considere el siguiente conjunto de pasos asociados con la lógica propuesta por Muther, con los cuales se procederá a determinar la distribución en planta inicial de una forma ordenada.

1. Determinación del diagrama de la relación de actividades.
2. Desarrollo del diagrama de relaciones.
3. Elaboración de la hoja de trabajo.
4. Construcción de las diversas alternativas de diagramas adimensionales de bloques.
5. Selección del diagrama de bloque que mejor se ajuste al esquema de producción y a los intereses del equipo de trabajo.

5.7.1.1 Determinación del Diagrama de Relación de Actividades de Richard Muther.

Este diagrama al que también se le conoce con el nombre de diagrama de análisis de afinidades, muestra las relaciones de cada departamento, oficina o área de servicios, con cualquier otro departamento y área dentro del contexto de la planta analizada. El análisis de este esquema precisa de la consideración de una serie de códigos de cercanía para reflejar la importancia de cada relación, como también requiere de un conjunto de razones asociadas a números las cuales sustentan el porqué de cada relación establecida por los analistas del proyecto. De este modo este diagrama se convierte en una herramienta ideal para desarrollar el proceso de planificación de Layout de la planta de procesamiento de leche deshidratada propuesta por el equipo de trabajo, pues permite determinar la importancia relativa entre cada departamento, con el objeto de obtener un esquema adecuado en el análisis holístico de la planta. [Considere las siguientes tablas que soportan la información contenida en el diagrama de afinidad de Muther].

Tabla 68

Calificación de Cercanía para SLP

Código	Definición
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinariamente importante
U	Sin importancia
X	No deseable

Fuente: Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana. (2008). Manual de Distribución en Planta (N°19).

Tabla 69

Razones de Cercanía Consideradas

Código	Razón
1	Uso de registros comunes
2	Comparten mismo personal
3	Comparten el mismo espacio o material
4	Contacto personal, documentario.
5	Mantenimiento de equipos
6	Secuencia del flujo de trabajo
7	Ejecutan trabajos similares, inspecciones
8	Hacen uso del mismo equipo
9	Posibles situaciones desagradables

Fuente: Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana. (2008). Manual de Distribución en Planta (N°19)

Con esta información es posible esbozar el siguiente diagrama de afinidad entre departamentos para la planta analizada, con la ayuda de la plataforma de Microsoft Excel.

Tabla 70

Diagrama de Análisis de Afinidad o de Relación de Actividades de Richard Muther

1	Recepción.															
2	Almacenamiento.	A 1,3,6														
3	Pasteurización.	U 6	A 6													
4	Evaporación.	U 6	U 6	A 6,7												
5	Secado y Enfriamiento.	U 6	U 6	U 6	A 6											
6	Empaque y Embalaje.	U 3	O 3	U 3	U 3	A 6										
7	Bodega.	U 6	U 6	U 6	U 6	O 6	A 6									
8	Envíos.	U 6	U 6	U 6	U 6	U 6	I 3,6	A 6								
9	Control de calidad.	O 7	U 7	E 7	I 7	E 7	U 7	U 7	U 7							
10	Baños y Lockers.	U 4	U 4	O 4	U 4	U 4	O 4	U 4	U 4	O 4						
11	Cafetería.	U 4	U 4	U 4	U 4	U 4	U 4	U 4	U 4	U 4	E 4					
12	Oficinas.	O 1	U 1	U 1	U 1	U 1	U 1	U 1	I 4	U 4	I 4	U 4				
13	Mantenimiento y Servicios.	U 5	U 5	I 5	I 5	I 5	I 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5			
14	Enfermería.	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5	U 5		
		Recepción.	Almacenamiento.	Pasteurización.	Evaporación.	Secado y Enfriamiento.	Empaque y Embalaje.	Bodega.	Envíos.	Control de calidad.	Baños y Lockers.	Cafetería.	Oficinas.	Mantenimiento y Servicios.	Enfermería.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	






Fuente: Elaboración Propia

5.7.1.2 Diagrama Relacional de Recorrido y Actividades.

En función de la información contenida en el esquema de Muther, se construye el siguiente diagrama que expone de manera pictórica las relaciones contenidas en dicha tabla, a partir de enlaces establecidos por nexos de líneas cuyos colores y configuraciones representan internacionalmente las relaciones entre los departamentos analizados.

Tabla 71

Tabla de Cuantificación de Proximidad entre Actividades

Código	Definición	Color
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro	
E	Especialmente importante	
I	Importante	
O	Ordinariamente importante	
U	Sin importancia	
X	No deseable	

Fuente: Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana. (2008). *Manual de Distribución en Planta (Nº19)*.

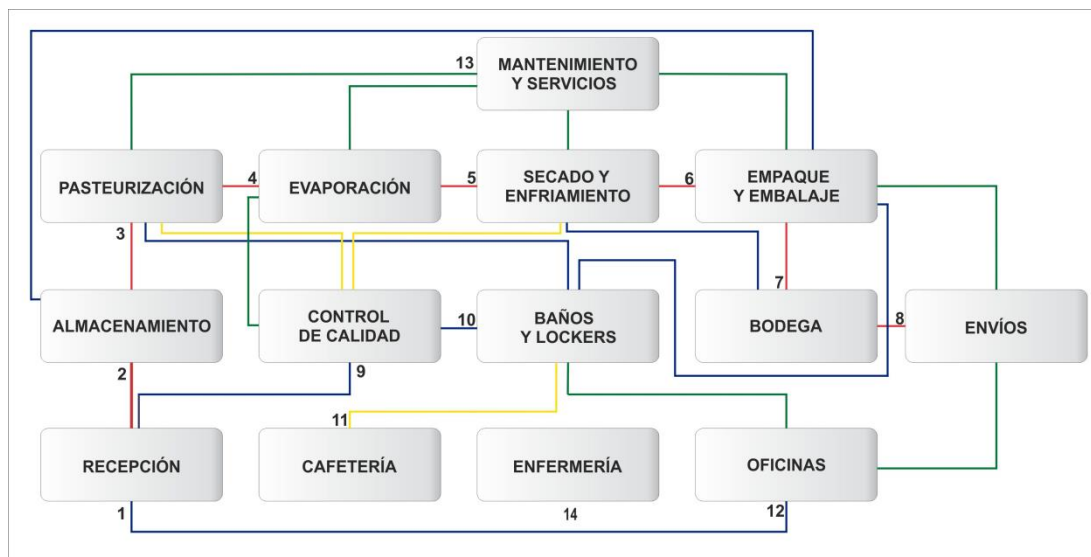


Figura 29 Diagrama de Relaciones del Esquema de Distribución en Planta Propuesto
 Fuente: Elaboración Propia.

5.7.1.3 Elaboración de la Hoja de Trabajo en Función del Diagrama de Afinidad.

El desarrollo de la hoja de trabajo es una etapa intermedia entre el diagrama de relación de actividades y el diagrama adimensional de bloques, la cual se construye con el fin de hacer más tangible la información contenida en el esquema de Muther, de tal modo que facilite la posterior elaboración del diagrama adimensional de bloques. La construcción de dicha hoja parte de la interpretación de cada una de las relaciones existentes entre departamentos, para lo cual se hará en primer lugar un análisis por columnas y posteriormente una revisión de las sociedades entre áreas por filas, pues así lo precisa la estructura del esquema de afinidad propuesto por el equipo de trabajo. Finalmente se tomará la información contenida en ambas tablas para elaborar la hoja de trabajo final, la cual contiene todas las actividades analizadas en cada una de las filas expuestas, por lo que será de gran utilidad para esbozar los diagramas de bloques que serán sometidos a consenso.

Tabla 72

Análisis del Diagrama de relaciones de Muther por Columnas

ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE RELACIONES DE MUTHER POR COLUMNAS							
NÚMERO	ACTIVIDADES	A	E	I	O	U	X
1	Recepción.	2	--	--	9,12	3,4,5,6,7,8,10,11,13,14	--
2	Almacenamiento.	3	--	--	6	4,5,7,8,9,10,11,12,13,14	--
3	Pasteurización.	4	9	13	10	5,6,7,8,11,12,14	--
4	Evaporación.	5	--	9,13	--	6,7,8,10,11,12,14	--
5	Secado y Enfriamiento.	6	9	13	7	8,10,11,12,14	--
6	Empaque y Embalaje.	7	--	8,13	10	9,11,12,14	--
7	Bodega.	8	--	--	--	9,10,11,12,13,14	--
8	Envíos.	--	--	12	--	9,10,11,13,14	--
9	Control de calidad.	--	--	--	10	11,12,13,14	--
10	Baños y Lockers.	--	11	12	--	13,14	--
11	Cafetería.	--	--	--	--	12,13,14	--
12	Oficinas.	--	--	--	--	13,14	--
13	Mantenimiento y Servicios.	--	--	--	--	14	--
14	Enfermería.	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 73

Análisis del Diagrama de Relaciones de Muther por Filas

ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE RELACIONES DE MUTHER POR FILAS							
NÚMERO	ACTIVIDADES	A	E	I	O	U	X
1	Recepción.	--	--	--	--	--	--
2	Almacenamiento.	1	--	--	--	--	--
3	Pasteurización.	2	--	--	--	1	--
4	Evaporación.	3	--	--	--	1,2	--
5	Secado y Enfriamiento.	4	--	--	--	1,2,3	--
6	Empaque y Embalaje.	5	--	--	2	1,3,4	--
7	Bodega.	6	--	--	5	1,2,3,4	--
8	Envíos.	7	--	6	--	1,2,3,4,5	--
9	Control de calidad.	--	3,5	4	1	2,6,7,8	--
10	Baños y Lockers.	--	--	--	3,6,9	1,2,4,5,7,8	--
11	Cafetería.	--	10	--	--	1,2,3,4,5,6,7,8,9	--
12	Oficinas.	--	--	8,10	1	2,3,4,5,6,7,9,11	--
13	Mantenimiento y Servicios.	--	--	3,4,5,6	--	1,2,7,8,9,10,11,12	--
14	Enfermería.	--	--	--	--	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	--

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 74

Hoja de Trabajo de Relación de Actividades

HOJA DE TRABAJO							
NÚMERO	ACTIVIDADES	A	E	I	O	U	X
1	Recepción.	2	--	--	9,12	3,4,5,6,7,8,10,11,13,14	--
2	Almacenamiento.	1,3	--	--	6	4,5,7,8,9,10,11,12,13,14	--
3	Pasteurización.	2,4	9	13	10	1,5,6,7,8,11,12,14	--
4	Evaporación.	3,5	--	9,13	--	1,2,6,7,8,10,11,12,14	--
5	Secado y Enfriamiento.	4,6	9	13	7	1,2,3,8,10,11,12,14	--
6	Empaque y Embalaje.	5,7	--	8,13	2,10	1,3,4,9,11,12,14	--
7	Bodega.	6,8	--	--	5	1,2,3,4,9,10,11,12,13,14	--
8	Envíos.	7	--	6,12	--	1,2,3,4,5,9,10,11,13,14	--
9	Control de calidad.	--	3,5	4	1,10	2,6,7,8,11,12,13,14	--
10	Baños y Lockers.	--	11	12	3,6,9	1,2,4,5,7,8,13,14	--
11	Cafetería.	--	10	--	--	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13,14	--
12	Oficinas.	--	--	8,10	1	2,3,4,5,6,7,9,11,13,14	--
13	Mantenimiento y Servicios.	--	--	3,4,5,6	--	1,2,7,8,9,10,11,12,14	--
14	Enfermería.	--	--	--	--	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	--

Fuente: *Elaboración Propia.*

5.7.1.4 Construcción y Selección del Diagrama Adimensional de Bloques que Mejor se Ajuste a las Características de la Planta.

El diagrama adimensional de bloques es el primer intento de distribución y es el resultado de la gráfica de relación de actividades de Muther y la hoja de trabajo. Aunque su composición carece de una forma geométrica definida por ser adimensional, es claro que este será la base fundamental para trazar el plano definitivo de la fábrica y posibilitará desarrollar la distribución maestra del esquema productivo de la planta de leche en polvo analizada en este documento. Para su construcción se consideran las 14 actividades involucradas en el esquema de la planta, las cuales serán representadas por un arreglo de plantillas de la misma escala, en las que se registran las relaciones con las que está asociado cada departamento de acuerdo a la configuración expuesta en el siguiente ejemplo. [Considere la siguiente figura que representa una de las plantillas típicas empleadas en el análisis adimensional de bloques].

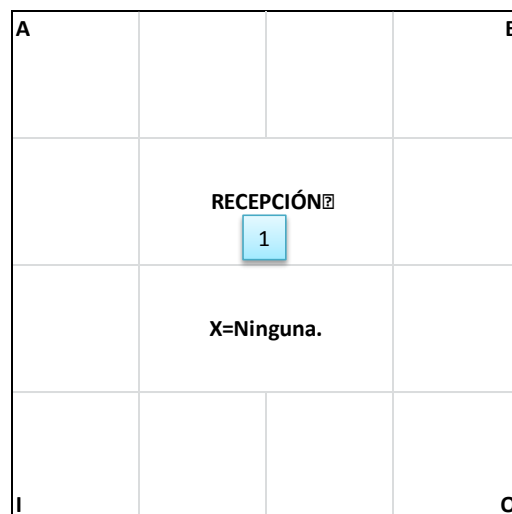


Figura 30 Plantillas Característica Empleada en el Análisis Adimensional de Bloques
 Fuente: Elaboración Propia.

De este modo, con el análisis desarrollado por el equipo de trabajo, y considerando el enfoque metodológico planteado por Richard Muther, fue posible la construcción de tres esquemas que ilustran de manera potencial las relaciones más importantes dentro del estudio de planificación de Layout para la planta productora de leche en polvo, los cuales fueron

posteriormente sometidos a un proceso de validación asistida por ordenador empleando el algoritmo Meta-Heurístico ALDEP Plant Lay-Out Generating, con el fin de corroborar la estructura del esquema automatizado propuesto en el presente trabajo.

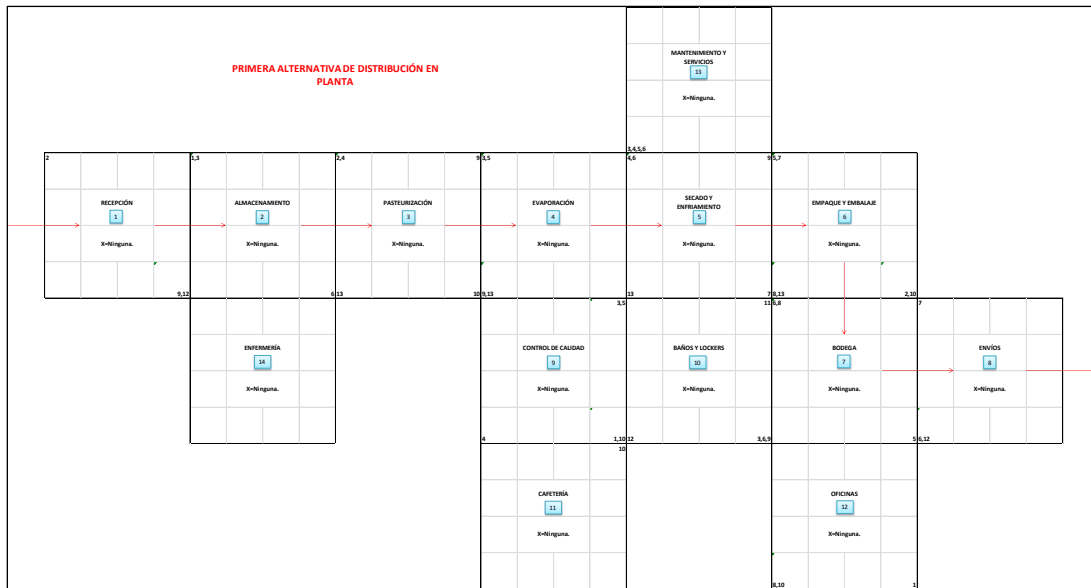


Figura 31 Primera Alternativa de Distribución en Planta
Fuente: Elaboración Propia.

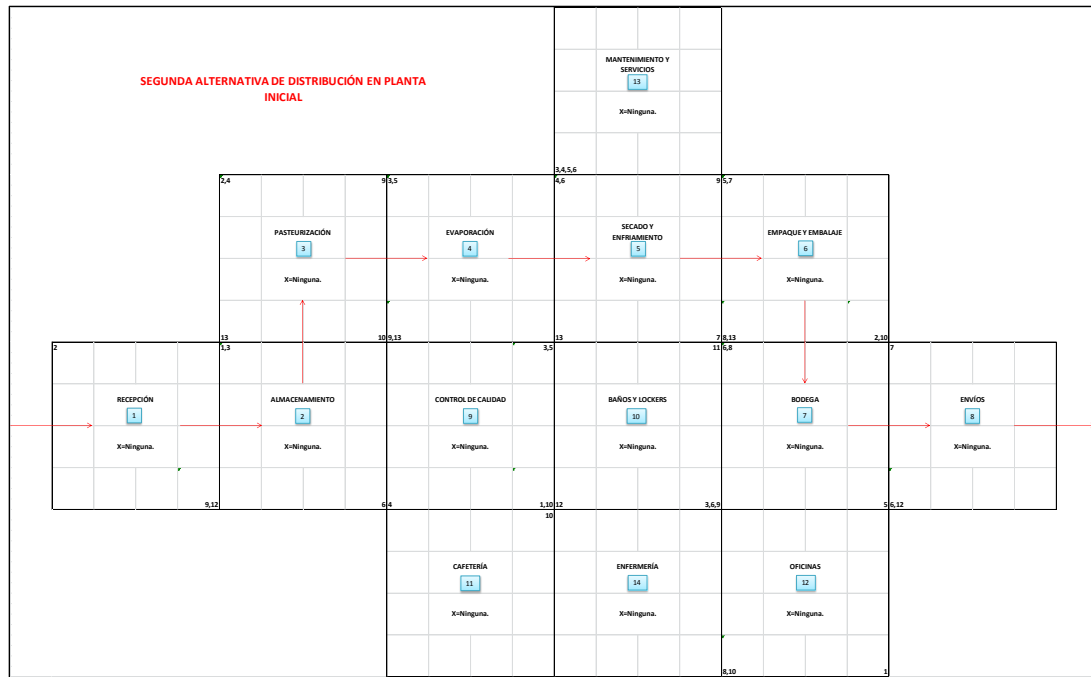


Figura 32 Segunda Alternativa de Distribución en Planta Inicial
Fuente: Elaboración Propia.

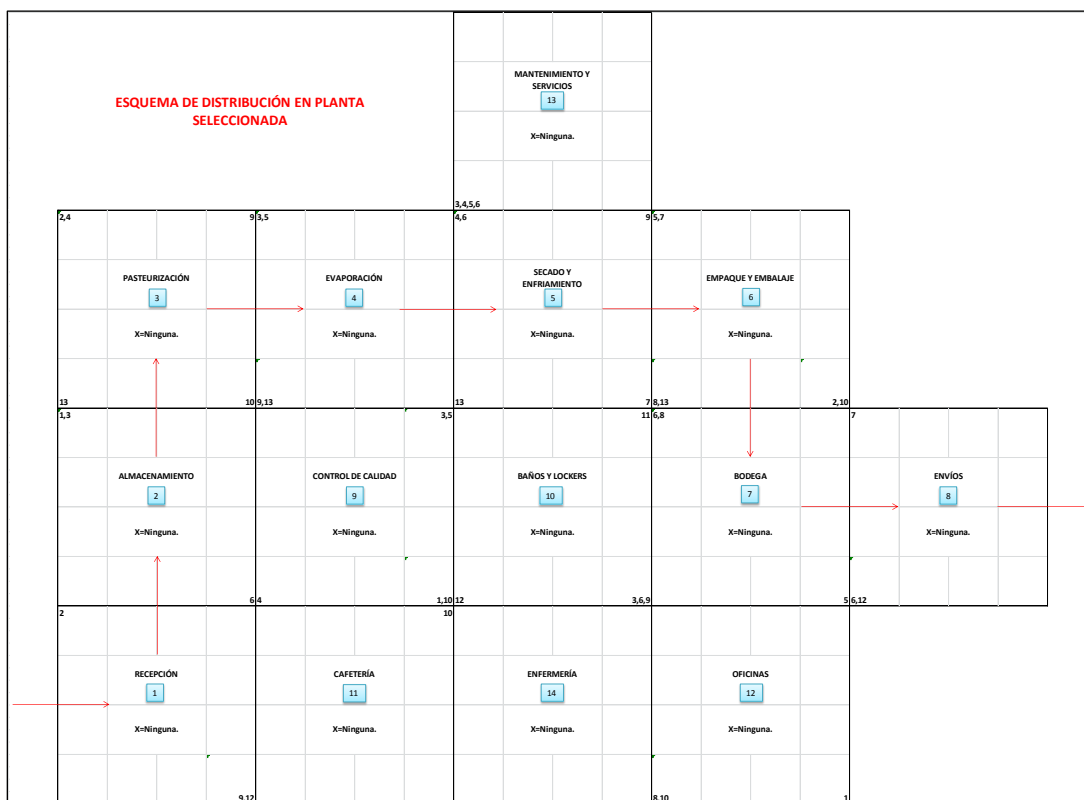


Figura 33 Esquema de Distribución en Planta Seleccionada
Fuente: Elaboración Propia.

5.7.2 Asignación de Áreas para Determinar el Esquema de Layout más Apropriado para la Fábrica de Leche en Polvo Analizada.

El proceso de asignación de áreas consiste fundamentalmente en dividir el espacio del inmueble con el que se cuenta para instalar un proyecto planificado, o bien sea asignar el área a los departamentos que componen el esquema físico de la organización, con el objeto de contar con el espacio suficiente para desarrollar adecuadamente la tarea productiva. Para asignarlo se necesita conocer claramente cuáles son los requerimientos de espacio para cada uno de los departamentos, por lo que a continuación se describen las dimensiones y áreas que precisa la planta productora de leche deshidratada, en función de las características del esquema automatizado de producción de esta industria, como también se consideran las dimensiones de cada una de las máquinas y equipos primarios y secundarios empleados, la relación entre las actividades y departamentos involucrados y los lineamientos para la circulación y seguridad del

personal que va trabajar en esta empresa; de este modo, considere los siguientes aspectos cuantitativos que serán considerados en el análisis geométrico desarrollado a continuación de esta sección:

- Determinación de los requerimientos de espacios en el área de producción en función de las máquinas y equipos empleados.
- Estimación del área ocupada por los dispositivos de acopio [Silo de leche cruda, tanque aséptico de leche pasteurizada, tanque de concentrado lácteo y silo para el almacenamiento del producto totalmente deshidratado].
- Calculo de las zonas de almacenamiento en función de las características físicas del producto.
- Cálculo tanto del área ocupada por los camiones cisterna en la zona de recepción, como también por los camiones de carga en la zona de envíos de productos terminados.
- Construcción del esquema de distribución en planta empleando la plataforma de diseño de AutoCAD.
- Construcción del diagrama de recorridos, en el que se ilustra cómo se desarrolla el proceso productivo de la leche en polvo, con respecto al plano diseñado.

En este sentido, considere el siguiente grupo de tablas en las que se determinan los requerimientos de área en el departamento de producción, los cuales serán determinantes para estimar las necesidades de espacio y serán críticos para establecer la morfología del edificio empleado para la puesta en marcha del presente proyecto.

Tabla 75

Determinación de los Requerimientos de Espacios en el Área de Producción

MAQUINA ANALIZADA	ÁREA DEL EQUIPO			ÁREA DE EQUIPOS AUXILIARES			ÁREA PARA LABORES DE INSPECCIÓN CON ACCESO A LOS 4 LADOS				SUB-TOTAL	SUB-TOTAL DEL ÁREA CON TOLERANCIA AL [150%]	CANTIDAD DE MÁQUINAS EMPLEADAS [Uds]	ÁREA EFECTIVA OCUPADA POR LOS EQUIPOS	ÁREA DESTINADA PARA PASILLOS [50%]	ÁREA TOTAL	
	Largo [L]	Ancho [A]	Área	Largo [L]	Ancho [A]	Área	Largo [L]	Ancho [A]	2 x [L x A]	Área							
Sistema Pasteurizador	8,2	5,2	42,5	1,0	0,3	0,3	8,2	0,9	15,0	24,5	67,2	100,9	1,0	100,9	50,4	151,31	
Sistema de Evaporadores	15,0	7,0	105,0	1,0	0,3	0,3	0,9	5,2	9,5	27,4	40,2	145,5	218,2	1,0	218,2	109,1	327,35
							0,9	7,0	12,8								
Atomizador [Spray-Dryer]	10,0	10,0	100,0	--	--	--	10,0	0,9	18,3	36,6	136,6	204,9	1,0	204,9	102,4	307,30	
							0,9	10,0	18,3								
Vibrofluidificador	5,0	1,3	6,3	--	--	--	5,0	0,9	9,2	11,5	17,8	26,7	1,0	26,7	13,4	40,06	
							0,9	1,3	2,3								
Máquina de Empacado	2,7	2,1	5,6	--	--	--	2,7	0,9	5,0	8,7	14,3	21,5	1,0	21,5	10,7	32,24	
							0,9	2,1	3,8								
Máquina de Paletización	4,3	2,4	10,4	--	--	--	4,3	0,9	7,9	12,3	22,7	34,1	1,0	34,1	17,0	51,14	
							0,9	2,4	4,4								
ÁREA TOTAL REQUERIDA:																909,39	

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 76

Estimación del Área Ocupada por los Dispositivos de Acopio

TANQUES ANALIZADO	ÁREA DEL DISPOSITIVO DE ACOPIO			ÁREA DE EQUIPOS AUXILIARES			ÁREA PARA LABORES DE INSPECCIÓN ALREDEDOR DE LOS DISPOSITIVOS DE ACOPIO			SUB-TOTAL	SUB-TOTAL DEL ÁREA CON TOLERANCIA AL [150%]	CANTIDAD DE TANQUES EMPLEADOS [Uds]	ÁREA EFECTIVA OCUPADA POR LOS TANQUES	ÁREA DESTINADA PARA PASILLOS [50%]	ÁREA TOTAL
	Radio [R]	Pi = 3.1415	Área	Largo [L]	Ancho [A]	Área	[R] + 0.9144	[Pi x (R + 0.9144) ^2]	Área del Pasillo						
Silo de Leche Cruda	1,75	3,14	9,62	0,98	0,26	0,25	2,66	22,30	12,68	22,56	33,83	1,00	33,83	16,92	50,75
Tanque de Leche Pasteurizada	1,80	3,14	10,18	2,40	1,10	2,89	2,71	23,15	12,97	26,04	39,06	1,00	39,06	19,53	58,59
				0,98	0,26										
Tanque de Concentrado de Leche	1,80	3,14	10,18	2,40	1,10	2,89	2,71	23,15	12,97	26,04	39,06	1,00	39,06	19,53	58,59
Silo de Leche en Polvo	1,33	3,14	5,52	--	--	--	2,24	15,75	10,24	15,75	23,63	1,00	23,63	11,82	35,45
				0,98	0,26										
ÁREA TOTAL REQUERIDA:															203,38

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 77

Cálculo del Área Ocupada por los Camiones de la Zona de Recepción

ÁREA OCUPADA POR LOS CAMIONES DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LA LECHE FRESCA													
Largo [L]	Ancho [A]	Área	ÁREA PARA OPERACIONES CON ACCESO A LOS 4 LADOS				DIMENSIONES DE LA BAHÍA DE RECEPCIÓN DE LECHE			SUBTOTAL DE ÁREA	CANTIDAD DE MÁQUINAS EMPLEADAS [Uds]	ÁREA TOTAL	
			Largo [L]	Ancho [A]	2 x [L x A]	Área	Longitud [L]	Ancho [A]	Área				
7,13	2,47	17,63	7,13	0,91	13,04	17,56	8,96	2	17,91	53,11	5,00	265,54	
			0,91	2,47	4,52								

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 78

Estimación del Área Ocupada por los Camiones de la Zona de Envíos

ÁREA OCUPADA POR LOS CAMIONES DE LA ZONA DE ENVÍOS DE PRODUCTOS TERMINADOS													
Largo [L]	Ancho [A]	Área	ÁREA PARA OPERACIONES CON ACCESO A LOS 4 LADOS				DIMENSIONES DEL MUELLE DE ENVÍOS			SUBTOTAL DE ÁREA	CANTIDAD DE MÁQUINAS EMPLEADAS [Uds]	ÁREA TOTAL	
			Largo [L]	Ancho [A]	2 x [L x A]	Área	Longitud [L]	Ancho [A]	Área				
8,51	2,40	20,41	8,51	0,91	15,55	19,94	10,33	2,00	20,67	61,02	4,00	244,09	
			0,91	2,40	4,39								

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 79

Resumen de la Composición de las Áreas de los Departamentos Analizados

Departamentos Analizados	Composición de Áreas	Área	Área Total del Departamento
Recepción	Zona de Camiones de Cisternas	265,54	265,54
Almacenamiento	Silo de Leche Cruda	50,75	56,75
	Área de Almacenamiento de Insumos de Empaque	6,00	
Pasteurización	Sistema Pasteurizador	151,31	209,90
	Tanque de Leche Pasteurizada	58,59	
Evaporación	Sistema de Evaporadores	327,35	385,94
	Tanque de Concentrado de Leche	58,59	
Secado y enfriamiento	Atomizador [Spray-Dryer]	307,30	382,80
	Vibrofluidificador	40,06	
	Silo de Leche en Polvo	35,45	
Empaque y embalaje	Máquina de Empacado	32,24	83,38
	Máquina de Paletización	51,14	
Bodega	Área de Inventario de Productos Terminados	113,10	113,10
Envíos	Zona de Camiones de Envío	244,09	244,09
Área Total Estimada para el Desarrollo de Operaciones Productivas			1741,51

Fuente: *Elaboración Propia.*

5.7.3 Validación del Esquema Básico de la Planta Empleando el Algoritmo Meta-heurístico Aldep Plant Lay-Out Generating.

Con el fin de evaluar la disposición de los departamentos de la planta desarrollada a través del enfoque metodológico planteado por Richard Muther en su algoritmo de Planificación Sistemática de Layout, se procederá a contrastar los resultados obtenidos a partir del desarrollo manual de este método, con los resultados iterativos realizados empleando la interfaz de análisis asistido del software ALDEP, el cual en esencia es una meta-heurística para la generación de esquemas de planta que esencialmente actúa colocando las actividades secuencialmente en el dominio siguiendo una curva de llenado de espacios o Spacefilling Curve.

ALDEP es el acrónimo en inglés para Automated Layout Design Program o [Programa de diseño automatizado] y fundamentalmente es un algoritmo en el que el primer elemento de la secuencia de llenado de la curva se escoge aleatoriamente, mientras que los restantes se eligen usando como criterio las relaciones entre operaciones expresadas en la tabla de afinidad de actividades obtenida a partir del S.L.P. La siguiente actividad a introducir en la secuencia será aquella cuya necesidad de cercanía a la anterior supere cierto mínimo establecido como parámetro del algoritmo, de no existir ninguna que cumpla ese requisito se selecciona una actividad de manera aleatoria y este proceso continuará hasta haber introducido todas las actividades en la distribución. [Considere las siguientes imágenes en las que se exponen tanto los datos ingresados, como los resultados obtenidos en 3 iteraciones realizadas en el aplicativo ALDEP Plant Lay-Out Generating].

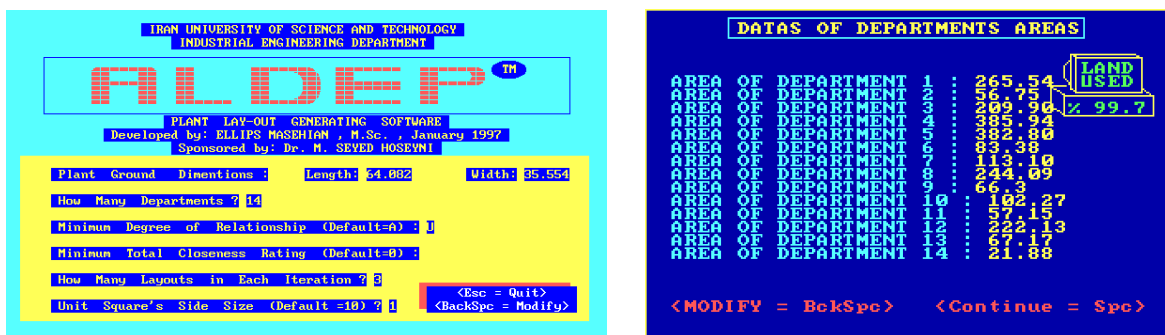


Figura 34 Plataforma para el Ingreso de Datos del Algoritmo Meta-Heurístico ALDEP
Fuente: Elaboración Propia Empleando el Software ALDEP.



Figura 35 Primera Iteración o Layout 1A

Fuente: Elaboración Propia Empleando el Software ALDEP.

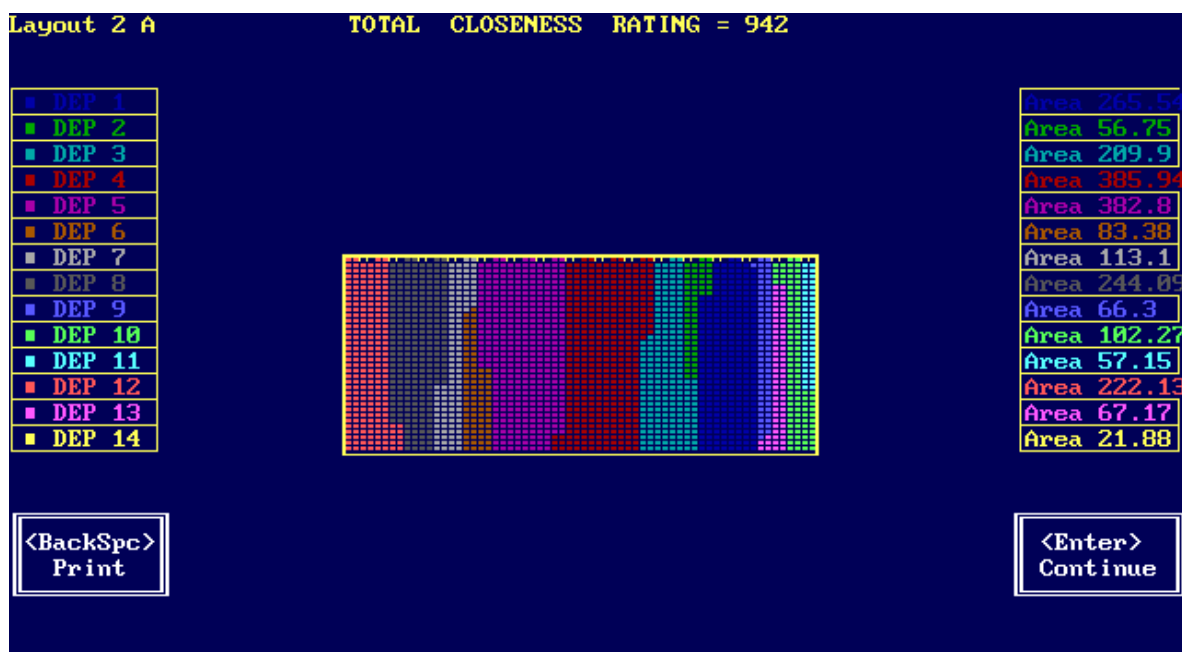


Figura 36 Segunda Iteración o Layout 2A

Fuente: Elaboración Propia Empleando el Software ALDEP.

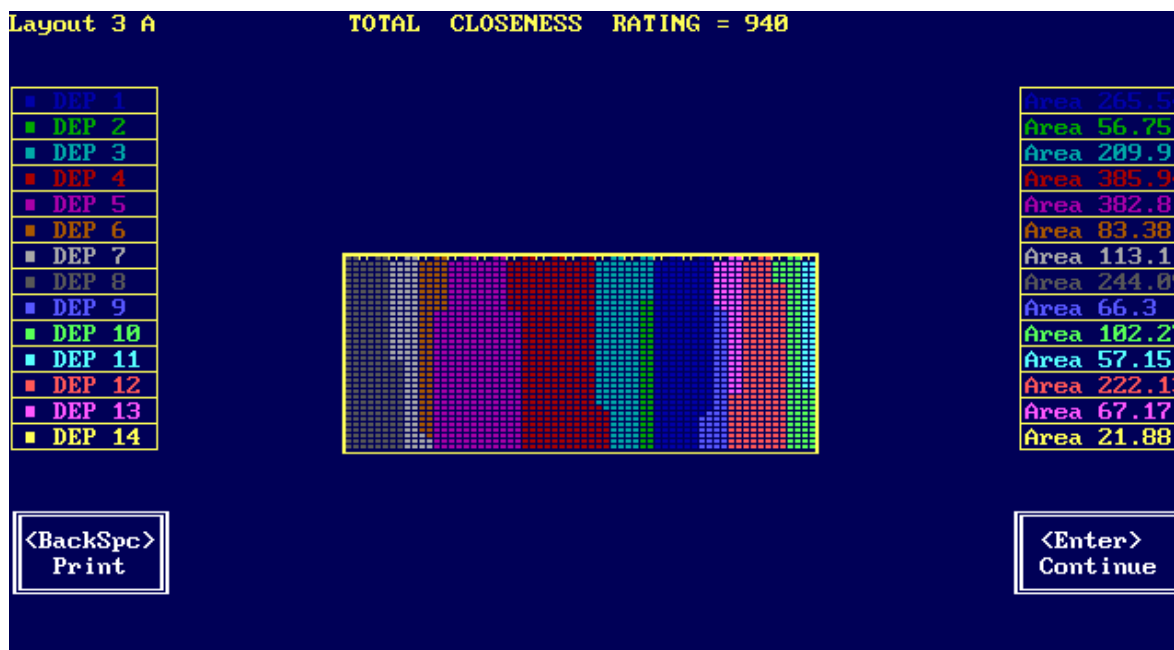


Figura 37 Tercera Iteración o Layout 3A

Fuente: Elaboración Propia Empleando el Software ALDEP.

En este orden de ideas y considerando tanto el esquema diseñado a partir de la lógica planteada Richard Muther, como los resultados obtenidos empleando el aplicativo informático ALDEP, es posible concluir que el diseño de distribución en planta inicialmente obtenido en el análisis adimensional de bloques de la metodología SLP desarrollada manualmente, es congruente con la función de la producción del tipo continuo para la producción de leche en polvo planteada en el presente proyecto, pues su esquema totalmente automatizado precisa de la conservación total de la linealidad en la secuencia de las tareas productivas desarrolladas en dicha planta, debido a que en ella existe una relación estrecha entre las diversas etapas del proceso de transformación del producto lácteo en el flujo de la producción hasta su empaquetado y embalaje.

5.8 Simulación Asistida del Modelo

En el presente apartado se procederá a desarrollar el análisis de simulación asistida en la plataforma de FlexSim v.16 para los distintos escenarios considerados por el equipo de diseño con el propósito de emitir conclusiones sobre el desempeño del modelo diseñado, por lo que a continuación considere la siguiente metodología empleada para determinar las estadísticas

necesarias para poder emitir un juicio correcto sobre el comportamiento del esquema productivo en contraste con su contraparte teórica.

5.8.1 Descripción y Justificación del Proceso de Simulación en el Entorno de FlexSim.

FlexSim es un poderoso software de simulación de eventos discretos, que cuenta con una interfaz gráfica de última tecnología en tercera dimensión que permite modelar, visualizar, y analizar las operaciones y los procesos de logística, manejo de materiales y procedimientos de manufactura frente a la acción de los cambios de la manera más rápida y sencilla, evitando los altos costos, los riesgos implicados y los prolongados tiempos que conlleva la experimentación en el entorno real y su análisis por tanteo o prueba y error. Las bondades que ofrece este paquete de software permiten validar y analizar los diferentes escenarios y condiciones a los que los sistemas productivos y logísticos usualmente se ven sometidos, con el propósito de encontrar la solución más conveniente que propicie la acertada toma de decisiones. En virtud de ello se procederá a emplear esta plataforma informática para desarrollar la validación del modelo del esquema industrial, con el fin de validar y analizar el desempeño esperado en el diseño teórico del sistema de producción de la leche en polvo propuesto en este trabajo, con los resultados obtenidos a partir del reporte estadísticos de FlexSim, con el fin de emitir conclusiones que permitan comprobar el óptimo rendimiento del sistema diseñado y el adecuado cumplimiento de las metas de producción, en contraste al comportamiento que podrían exponer esquemas alternativos desarrollados con equipos de pulverización con un rendimiento por encima y por debajo de la capacidad nominal del Spray-Dryer empleado en el sistema teóricamente balanceado en el horizonte de producción planteado en este trabajo, debido a que este criterio de evaluación tiene fuertes implicaciones en el diseño de la planta, condicionado por las dimensiones y los requerimientos de áreas que precisa el equipo crítico del sistema propuesto.

5.8.2 Descripción del Modelo Desarrollado en FlexSim.

El procedimiento de simulación se realizará tomando como insumo la estructura real del proceso productivo de la leche en polvo entera, de acuerdo a lo estipulado en el diagrama de

procesos, con el cual fue posible obtener un modelo inicial que representa fielmente la secuencia lógica de operaciones a desarrollar. Posteriormente, este modelo fue implementado en el entorno de FlexSim v.16, concatenando todos los procesos considerados en el diseño y representados por entidades contenidas en la librería de este paquete de simulación de eventos discretos. Considere el siguiente esquema desarrollado en FlexSim en el que se expone la estructura general del modelo del proceso para la obtención de leche en polvo entera, el cual será objeto de varias pruebas asistidas en diferentes periodos de validación.

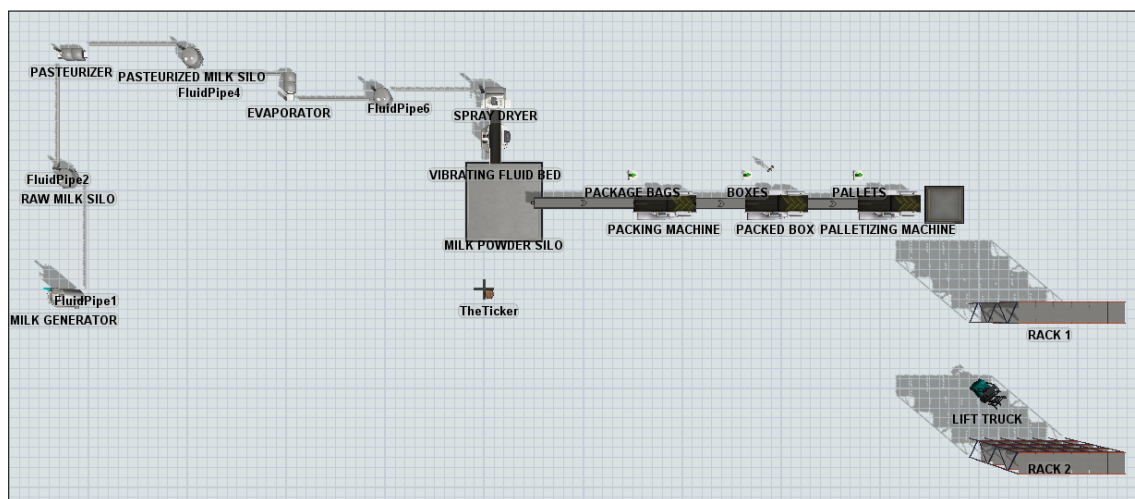


Figura 38 Modelo del Esquema Productivo Desarrollado Para Efectos de Pruebas de Simulación
 Fuente: Elaboración Propia Empleando el Software FlexSim.

En el modelo se observa que los camiones que proveen los 48.000 litros de leche diarios requeridos en la planta son representados por un generador de fluido o [FluidGenerator], al cual se le asigna un retardo de 1290 minutos para representar el periodo de espera que existe en el proceso de abastecimiento diario de la principal materia prima que arriba a la planta. Por otro lado el silo de leche cruda y los tanques de acumulación intermedia de leche pasteurizada y de concentrado lácteo son representados por tres tanques de fluido o [FluidTanks], a los cuales se les asignan las capacidades y las marcas de nivel de acuerdo con los requerimientos de almacenamiento en cada una de estas fases del proceso. De igual, forma el pasteurizador y el evaporador son simulados empleando procesadores de fluido o [FluidProcessors], a los cuales en sus respectivas ventanas de propiedades se les ingresan tanto el contenido máximo, las ratas de

salida y el valor nominal de las pérdidas involucradas en esas estaciones. Posteriormente el atomizador o Spray Dryer se representa con un convertidor de fluido a objetos o [FluidToItem], al cual se le ingresan tanto la tasa de inyección de líquido máxima, como la relación de conversión que existe entre la cantidad de fluido entrante y los objetos discretos que se desean obtener a la salida. Luego el lecho de fluidizado externo es simulado empleando un procesador convencional o [Processor], al cual se le ingresa el tiempo de procesamiento de este dispositivo para segregar las 6000 unidades discretas que salen del Spray Dryer por cada corrida de producción. De forma análoga para el silo de almacenamiento temporal de leche en polvo se emplea un Queue al cual se le asigna un contenido máximo de 6000 unidades discretas que simbolizan los 6000 *Kgrs* de leche deshidratada que salen del proceso de pulverización, los cuales posteriormente pasarán por tres unidades combinadoras o [Cobiners] que representan tanto a la máquina de empacado, como al proceso de embalado y a la paletizadora empleada en el sistema, a los cuales se les ingresan tanto su tiempo de procesamiento, como su respectiva relación de combinación asociada a cada una de estas fases del proceso productivo con respecto a los elementos que provienen de las tres fuentes o [Sources] que actúan como suministros de las bolsas, cajas de cartón y pallets respectivamente; para finalmente concluir el modelado del esquema con dos unidades tipo Racks que actúan como terminales de almacenamiento del producto terminado.

5.8.3 Validación del Modelo.

La validación del presente esquema consiste en comprobar que el modelo refleja convenientemente los intereses del equipo de diseño para poder suplir la demanda requerida de productos terminados en el horizonte inicialmente planteado. Para ello, se consideró tanto las capacidades de las maquinas involucradas y el volumen de leche que ingresaba a cada parte del sistema con el fin de determinar el tiempo de ciclo de cada estación de trabajo, con el propósito de evaluar a partir del balanceamiento de la línea, si esa etapa era capaz de cumplir con los requerimientos de demanda del sistema en el periodo considerado, cotejando para cada fase la relación existente entre las variables de entrada y salida y la sumatoria del total de los tiempos de

ciclo del proceso, con el fin de evaluar la efectividad del modelo para representar de manera fidedigna el sistema esperado por el equipo de diseño.

5.8.4 Experimentación del Modelo.

En esta etapa del proceso de simulación se busca evaluar el comportamiento del modelo diseñado frente a varios escenarios, con el fin de determinar aquel que presenta los mejores resultados de acuerdo al objetivo inicialmente formulado. Para esto se procederá a simular el sistema en un periodo de 24 horas o 1440 minutos, con el propósito de contrastar el comportamiento de los tiempos de ciclo del modelo experimental con relación a los del esquema teóricamente diseñado en función a su capacidad para suplir la demanda diaria en ese tiempo de corrida, con lo cual será posible determinar el rendimiento y el porcentaje de error del modelo experimental frente a los resultados obtenidos a partir del proceso de balanceamiento de la línea, que permitan validar la veracidad del esquema planteado. Posteriormente el modelo anteriormente validado será contrastado con dos escenarios alternativos propuestos en función a dos nuevos equipos de atomización diferentes al inicialmente considerado, con capacidades y requerimientos de área por debajo y por encima a los del empleado en el modelo inicialmente planteado, con el objeto de evaluar y determinar cuál de estas opciones se constituye en la mejor alternativa para cumplir los requerimientos de la demanda, en función a la capacidad de cada estación de trabajo para desarrollar adecuadamente sus operaciones en el tiempo de ciclo estipulado. Finalmente el esquema que exponga los mejores resultados será simulado en un periodo de validación de 430.560 minutos correspondientes a los 299 días laborales del año considerado, con la intención de evaluar la capacidad de dicho sistema para responder apropiadamente a la demanda de las 1.780 toneladas de leche en polvo entera que el equipo se trazó como capacidad instalada de la planta. Para desarrollar la evaluación de los resultados obtenidos, se partirá del reporte estadístico que suministra FlexSim, por lo que a continuación se expone una tabla que contiene la denominación y el significado de las principales entidades a validar, de tal forma que sea más tangible el proceso de análisis y la emisión de conclusiones que permitan tener un óptimo enfoque para la toma de decisiones.

Tabla 80

Entidades Validadas por el Programa de Simulación FlexSim

Entidad del reporte estadístico de FlexSim	Significado
Stats_Content	Contenido estadístico.
Stats_Contentmin	Contenido estático mínimo.
Stats_Contentmax	Contenido estático máximo.
Stats_Contentavg	Contenido promedio de las estadísticas.
Stats_Input	Estadísticas de entrada.
Stats_Output	Estadísticas de salida.
Stats_Staytimemin	Estadísticas de tiempo de permanencia mínimo.
Stats_Staytimemax	Estadísticas de tiempo de permanencia máximo.
Stats_Staytimeavg	Estadísticas de tiempo de permanencia promedio.
State_Current	Estado actual.
Empty	Tiempo en vacío
Processing	Tiempo de Procesamiento
Releasing	Tiempo de liberación

Fuente: Elaboración Propia Empleando el Software FlexSim.

5.8.5 Contraste entre el Esquema Teórico y el Modelo Experimental en un Periodo de Validación de 1440 Minutos.

Para desarrollar el proceso de validación del desempeño del modelo diseñado en función al balanceamiento de la línea de producción, se procederá a confrontar los tiempos de procesamiento en cada una de las fases del proceso productivo de la leche en polvo, con los resultados obtenidos a partir del reporte estadístico arrojado por FlexSim para un periodo de validación igual a 24 horas o 1440 minutos, con estos datos se esbozarán dos diagramas de Gantt para cada una de las dos situaciones analizadas con el fin de confrontar la duración de cada una de las operaciones asociadas al proceso, que permitan estimar tanto el nivel de rendimiento del esquema teórico como el porcentaje de error que este presenta respecto al modelo simulado en cuanto al cumplimiento de los tiempos de ciclo se refiere. En este sentido, considere el análisis desarrollado a continuación, en el que se exponen las tablas y los diagramas empleados para cotejar el rendimiento del esquema teórico respecto al simulado en el entorno de FlexSim.

▪ **Análisis de Desempeño del Esquema Teóricamente Diseñado:**

Tabla 81

Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones Desarrolladas en la Planta de Acuerdo al Balanceamiento Teórico de la Línea de Producción

Proceso	Inicio	Tiempos de Ciclo					Fin
		Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en Formato de Hora	
Periodo sin Actividad	00:00:00	360	6	0	0	06:00:00	06:00:00
Acopio de la Leche Cruda en el Silo	06:00:00	151,06	2	31	3,42	02:31:03	08:31:03
Proceso de Pasteurización	08:31:03	146,87	2	27	52,20	02:26:52	10:57:55
Evaporación o Concentración	10:57:55	151,06	2	31	3,64	02:31:03	13:28:58
Atomización y Secado del Concentrado Lácteo	13:28:58	121,28	2	1	16,90	02:01:16	15:30:14
Proceso Continuos Finales [Fluidificación, Empaque, Embalado y Paletizado]	15:30:14	328,53	5	29	32,00	05:28:32	20:58:46
Almacenamiento del Producto Terminado	20:58:46	40	0	40	0	00:40:00	21:38:46
Periodo sin Actividad	21:38:46	120	2	0	0	02:00:00	23:38:46

Fuente: Elaboración Propia Empleando el Balanceamiento de la Línea

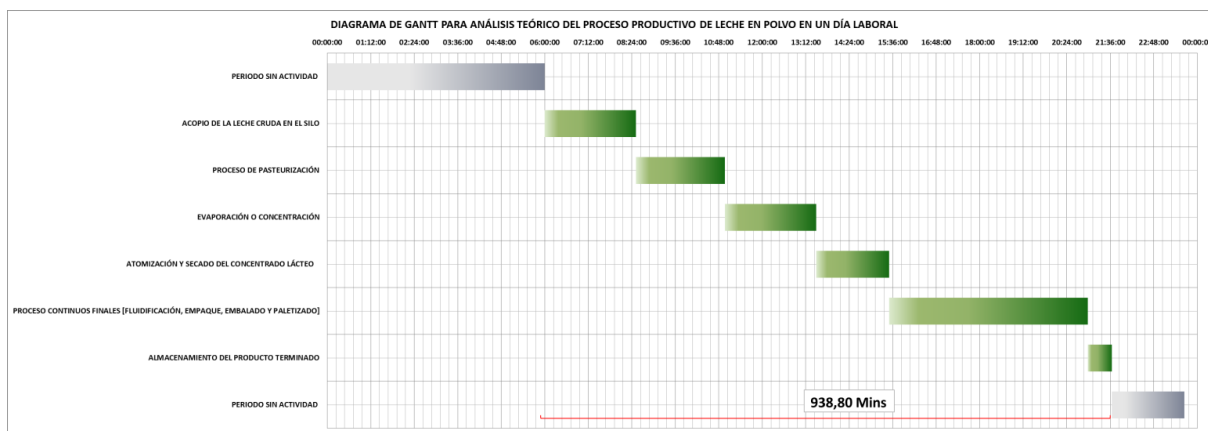


Figura 39 Diagrama de Gantt para el Análisis Teórico de los Tiempos de Ciclo del Proceso Productivo de la Leche en Polvo

Fuente: Elaboración Propia Empleando el Balanceamiento de la Línea.

▪ **Análisis de Desempeño del Modelo Simulado en FlexSim:**

Tabla 82

Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones Desarrolladas en la Planta de Acuerdo al Modelo Simulado en la Plataforma de FlexSim V.16

Proceso	Inicio	Tiempos de Ciclo				Fin	
		Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos		Duración en Formato de Hora
Periodo sin Actividad	00:00:00	360	6	0	0	06:00:00	06:00:00
Acopio de la Leche Cruda en el Silo	06:00:00	152	2	32	0	02:32:00	08:32:00
Proceso de Pasteurización	08:32:00	145	2	25	0	02:25:00	10:57:00
Evaporación o Concentración	10:57:00	149	2	29	0,00	02:29:00	13:26:00
Atomización y Secado del Concentrado Lácteo	13:26:00	122,09	2	2	5,40	02:02:05	15:28:05
Proceso Continuos Finales [Fluidificación, Empaque, Embalado y Paletizado]	15:28:05	327,58	5	28	34,80	05:27:34	20:55:39
Almacenamiento del Producto Terminado	20:55:39	40,70	0	41	42,22	00:40:42	21:36:21
Periodo sin Actividad	21:36:21	120	2	0	0	02:00:00	23:36:21

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16.

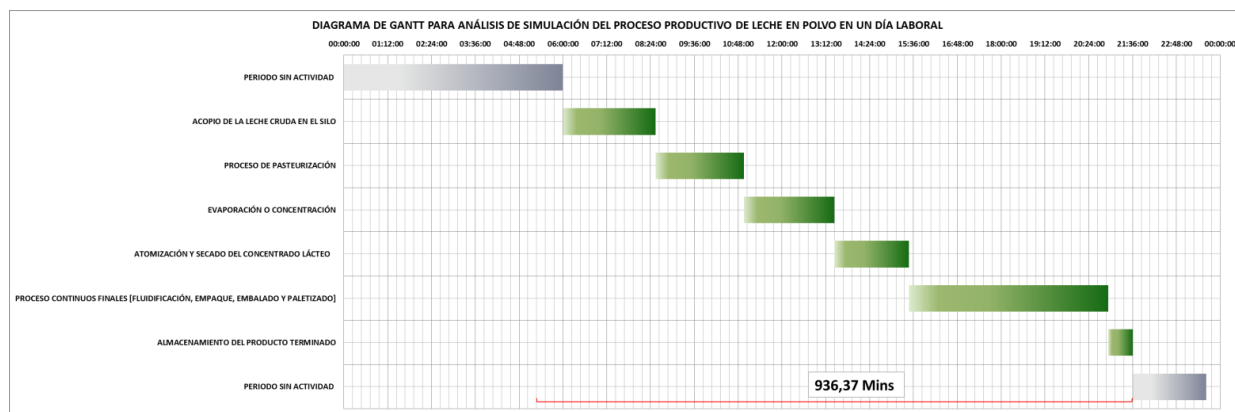


Figura 40 Diagrama de Gantt para el Análisis de Simulación de los Tiempos de Ciclo del Proceso Productivo de la Leche en Polvo

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16.

En concordancia con lo observado en las anteriores tablas y diagramas, se procederá a contrastar los resultados obtenidos en cuanto al tiempo total de la corrida en ambos escenarios analizados, para determinar a partir de indicadores el nivel de rendimiento que tiene el modelo diseñado por medio del balanceamiento de la línea, respecto al reporte estadístico arrojado por el simulador, con el propósito de validar la fiabilidad del esquema propuesto.

Tabla 83

Análisis de Validación de la Veracidad del Modelo en Función a Indicadores

Indicadores para Validar la Veracidad del Modelo Diseñado		
Porcentaje de Rendimiento del Modelo		
Formula	Indicador Evaluado	Valor
$[\%] \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo de Corrida Real}}{\text{Tiempo de Corrida Teórico}}$	$[\%] \text{ Rendimiento} = \frac{936.37 \text{ Min}}{938.8025 \text{ Min}}$	99.74 %
Error Absoluto del Modelo		
Formula	Indicador Evaluado	Valor
$E. \text{ Absoluto} = |T. \text{ Corrida Real} - T. \text{ Corrida Teórico}|$	$E. \text{ Absoluto} = |936.37 \text{ Min} - 938.80 \text{ Min}|$	2.43 Min
Error Relativo del Modelo		
Formula	Indicador Evaluado	Valor
$E. \text{ Relativo} = \frac{|T. \text{ Corrida Real} - T. \text{ Corrida Teórico}|}{T. \text{ Corrida Real}} \cdot 100$	$E. \text{ Relativo} = \frac{|936.37 \text{ Min} - 938.80 \text{ Min}|}{936.37 \text{ Min}} \cdot 100$	0.259 %

Fuente: *Elaboración Propia.*

En términos generales la evaluación de los resultados obtenidos permite concluir que el esquema diseñado a partir del balanceamiento de la línea de producción, se constituye en una excelente representación real del sistema que cumple adecuadamente con las metas diarias de producción de la industria productora de la leche en polvo propuesta en este documento, pues el porcentaje de rendimiento que exhibe el contraste entre los tiempos de corrida del modelo teórico respecto al simulado, es del 99.74 %, exponiendo un error relativo de solo 0.259 %, correspondiente a una diferencia absoluta de 2.43 Min entre el total de los tiempos de ciclo asociados a los esquemas considerados.



5.8.6 Contraste entre el Modelo Diseñado y Esquemas Alternativos Propuestos en Función a Diferentes Equipos de Atomización.

Dentro del esquema industrial analizado en el presente documento, el equipo de pulverización del concentrado lácteo es en definitiva el denominado “Equipo Crítico” del proceso productivo, no solo por ser el dispositivo que posibilita el cambio de estado físico de la leche, sino que además por sus características técnicas tiene fuertes repercusiones en el ritmo de procesamiento de la fábrica y en el esquema de distribución en planta, debido a sus grandes requerimientos de área, y a su considerable altura, que tiende a ser determinante para fijar la cota

del edificio donde estará emplazada esta máquina. En este sentido, a continuación se procederá a contrastar el desempeño del modelo anteriormente validado con dos escenarios alternativos propuestos en función a dos nuevos equipos de atomización con características técnicas por encima y por debajo de la capacidad nominal del equipo Tetra Pak Spray Dryer Tall Wide Body considerado en el proceso de balanceamiento de la línea de producción, con el fin de determinar cuál de estas alternativas se constituye no solo en la mejor opción para suplir de la forma más eficiente posible los requerimientos de la demanda inicialmente trazados por el equipo de trabajo, sino que además sea la más conveniente para los requerimientos de espacio asociados al esquema de la planta. En este orden de ideas considere las siguientes tablas donde se exponen las principales características de los equipos de pulverización considerados en los dos escenarios alternativos de simulación por validar.

Tabla 84

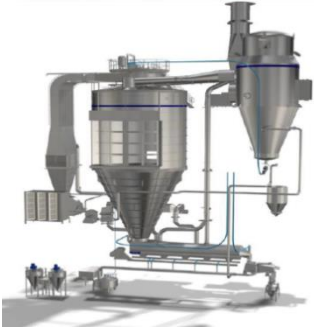

Características Técnicas del Spray Dryer del Primer Escenario Alternativo de Simulación

Tetra Pak® Spray Dryer Prolac	
	Fabricante:  <small>schützt, was gut ist™</small>
	Tipo de Atomizador: [RHI] Inyección de Calor Rotativo
	Capacidad de Deshidratación del Concentrado de Leche: 4.000 Lts/hr
	Capacidad de producción del sistema: 1.000 kgr/hr
	Área Mínima Requerida: 67.5 m ²
	Altura Mínima Requerida del Edificio: 12 m

Fuente: Elaboración Propia en Base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com

Tabla 85

Características Técnicas del Spray Dryer del Segundo Escenario Alternativo de Simulación

Tetra Pak® Spray Dryer Wide Body		
	Fabricante:	 <i>schützt, was gut ist™</i>
	Tipo de Atomizador:	[RHI] Inyección de Calor Rotativo
	Capacidad de Deshidratación del Concentrado de Leche:	24.000 Lts/hr
	Capacidad de producción del sistema:	6.000 kgr/hr
	Área Mínima Requerida:	124 m ²
	Altura Mínima Requerida del Edificio:	24 m

Fuente: *Elaboración Propia en Base a Información Técnica del Fabricante Tetra Pak. www.tetrapak.com.*

Estos datos serán la base para modelar los dos esquemas alternativos de simulación que se constituirán en los posibles escenarios de validación que permitirán contrastar de forma paralela el desempeño del sistema frente a la acción de los cambios en la tecnología de pulverización. En este sentido, a continuación considere los tiempos de ciclo asociados a las operaciones desarrolladas en la planta, de acuerdo con los resultados obtenidos a través de la simulación de estos dos nuevos escenarios con los cuales será posible apreciar el rendimiento que tiene cada una de las opciones consideradas para responder a la demanda diaria con relación a las políticas de trabajo y a los requerimientos de espacio de la planta, de acuerdo con los intereses del equipo de diseño.

▪ **Análisis de Desempeño del Primer Escenario Alternativo de Simulación:**

Tabla 86

Tiempos de Ciclo Asociados a la Primera Situación Alternativa de Simulación

Proceso	Inicio	Tiempos de ciclo					Fin
		Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en Formato de Hora	
Periodo sin Actividad	03:09:47	170,22	2	50	13,2	02:50:13	06:00:00
Acopio de la Leche Cruda en el Silo	06:00:00	152	2	32	0	02:32:00	08:32:00
Proceso de Pasteurización	08:32:00	145	2	25	0	02:25:00	10:57:00
Evaporación o Concentración	10:57:00	149	2	29	0,00	02:29:00	13:26:00
Atomización y Secado del Concentrado Lácteo	13:26:00	360	6	0	0,00	06:00:00	19:26:00
Proceso Continuos Finales [Fluidificación, Empaque, Embalado y Paletizado]	19:26:00	423,10	7	3	6,00	07:03:06	02:29:06
Almacenamiento del Producto Terminado	02:29:06	40,70	0	41	42,216	00:40:42	03:09:48

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16.

Tabla 87

Tiempo Total de Corrida del Primer Escenario Alternativo de Simulación

Tiempo de Corrida Experimental [Mins]				
Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en Formato de Hora
1269,80	21	10	48,22	21:09:48

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16.

▪ **Observación:**

A pesar de que el uso del equipo de atomización Tetra Pak Spray Dryer Prolac traería consigo no solo un considerable ahorro en el área ocupada por el departamento de pulverización de $32.5 m^2$, sino también una menor cota requerida en la altura del edificio en donde ubicar este dispositivo, es claro destacar que el empleo de esta máquina dentro del esquema productivo, traería inconvenientes para poder cumplir con la demanda diaria de los 6000 Kgrs de leche en polvo requeridos en la empresa de acuerdo con los resultados del proceso de simulación en FlexSim, pues no solo se aumentaría el tiempo del proceso de pulverización del concentrado lácteo en una razón de 237,91 minutos, sino que además se retrasaría el proceso de segregación en el lecho de fluidizado externo en unos 95,52 minutos, lo que en consecuencia terminaría por incrementar el tiempo total de corrida en un 35.6%, pasando de 936,37 a 1269,80 minutos en el

tiempo total del ciclo de operación; lo que traería como consecuencia el hecho de que no se podría llegar a cumplir con los requerimientos de producción diarios empleando la política de trabajo de dos jornadas de 8 horas inicialmente estipuladas en la planta, pues se requerirían alrededor de 5,55 horas extras para poder suplir dicha demanda.

▪ **Análisis de Desempeño del Segundo Escenario Alternativo de Simulación:**

Tabla 88

Tiempos de Ciclo Asociados a la Segunda Situación Alternativa de Simulación

Proceso	Inicio	Tiempos de Ciclo					Fin
		Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en Formato de Hora	
Periodo sin Actividad	00:00:00	360	6	0	0	06:00:00	06:00:00
Acopio de la Leche Cruda en el Silo	06:00:00	152,00	2	32	0	02:32:00	08:32:00
Proceso de Pasteurización	08:32:00	145,00	2	25	0	02:25:00	10:57:00
Evaporación o Concentración	10:57:00	149,00	2	29	0,00	02:29:00	13:26:00
Atomización y Secado del Concentrado Lácteo	13:26:00	59,00	0	59	0,00	00:59:00	14:25:00
Proceso Continuos Finales [Fluidificación, Empaque, Embalado y Paletizado]	14:25:00	327,58	5	28	34,80	05:27:34	19:52:34
Almacenamiento del Producto Terminado	19:52:34	40,70	0	41	42,216	00:40:42	20:33:16
Periodo sin Actividad	20:33:16	206,73	3	27	44	03:26:44	00:00:00

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16.

Tabla 89

Tiempo Total de Corrida del Segundo Escenario Alternativo de Simulación

Tiempo de Corrida Experimental [Mins]				
Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en Formato de Hora
873,28	14	33	17,02	14:33:17

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16

▪ **Observación:**

Aunque la cámara de atomización de la serie Tetra Pak Spray Dryer Wide Body se constituye en una considerable ventaja competitiva para desarrollar el cambio de estado físico de la leche evaporada que sale de los tubos concentradores, al disminuir en una proporción del 51.67% el tiempo total requerido para deshidratar los 24.000 Lts de concentrado lácteo, bajando

el tiempo para efectuar la pulverización en una razón de 63.09 minutos; es importante destacar que su efecto sobre el tiempo total de corrida es relativamente bajo, pues solo logra disminuir el total de los tiempos de ciclo de producción en una proporción del 6.73% respecto al esquema originalmente diseñado en función al balanceamiento de la línea, lo cual obliga a la planta a seguir con la misma política de dos jornadas de trabajo de 8 horas al día, por lo que se considera que un aumento de $24 m^2$ en el área ocupada por este nuevo dispositivo y su mayor cota de altura dentro del esquema de distribución en planta no justifica su uso, debido a que no genera una reducción considerable en el tiempo total de corrida que sea representativa sobre el esquema laboral de esta nueva industria.

5.8.7 Comportamiento del Esquema Productivo Diseñado Frente al Cumplimiento de la Demanda Anual.

Una vez sometido el esquema teóricamente diseñado a un proceso de validación para verificar su correcto funcionamiento y desempeño con relación a su respectivo modelo de simulación y a escenarios alternativos propuestos en función a cambios efectuados en la capacidad de la tecnología de pulverización aplicada, se confirmó que el diseño del proceso productivo inicialmente derivado del balanceamiento de la línea de producción, cumple con un mayor índice de rendimiento y ajuste a las políticas de trabajo trazadas, cubriendo en su totalidad con los requerimientos de la demanda diaria fijados en la planta, con respecto a las otras dos opciones consideradas en el proceso de verificación asistida, por lo que a continuación se procederá a desarrollar el análisis del reporte estadístico de los datos correspondientes al proceso de simulación del modelo descrito con antelación para un periodo de experimentación de 430.560 minutos, tiempo que coincide con un año de producción de la fábrica, con el propósito de corroborar la capacidad del modelo diseñado, para cubrir las 1.780 toneladas de leche totalmente deshidratada en este lapso de tiempo, capacidad que coincide con una proporción del 35.47% de la brecha total de demanda de leche en polvo entera inicialmente identificada para el mercado colombiano. En este sentido, a continuación considere el valor de las entidades más relevantes obtenidas a partir del proceso de simulación y los indicadores empleados para medir el nivel de fiabilidad del esquema diseñado.

Tabla 90

Reporte Estadístico Asociado al Proceso de Simulación para un Periodo de Ensayo de 430.560 Minutos

Resumen de los Resultados Obtenidos a Través del Proceso de Simulación		
Proceso	Estadística de Salida	Unidad de Medida
Empacado	1.794.000	Empaques
Embalado	179.400	Cajas
Paletizado	2.491	Pallets

Fuente: Elaboración Propia Empleando los Resultados del Proceso de Simulación en FlexSim V.16.

Tabla 91

Análisis de Validación de la Veracidad del Modelo en Función a Indicadores para un Periodo de Experimentación de un Año

Indicadores para Validar la Veracidad del Modelo Diseñado en el Cumplimiento de la Demanda Anual		
Porcentaje de Rendimiento del Modelo		
Formula	Indicador Evaluado	Valor
$[\%] \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Capacidad de Producción Real}}{\text{Capacidad Instalada Teórica}} \cdot 100$	$[\%] \text{ Rendimiento} = \frac{1794 \text{ Tons}}{1780 \text{ Tons}} \cdot 100$	100.78 %
Error Absoluto del Modelo		
Formula	Indicador Evaluado	Valor
$E. \text{ Absoluto} = |\text{Cap. Producción Real} - \text{Cap. Instalada Teórica}|$	$E. \text{ Absoluto} = |1794 \text{ Tons} - 1780 \text{ Tons}|$	14 Tons
Error Relativo del Modelo		
Formula	Indicador Evaluado	Valor
$E. \text{ Relativo} = \frac{|\text{Cap. Real} - \text{Cap. Teórica}|}{\text{Cap. Real}} \cdot 100$	$E. \text{ Relativo} = \frac{|1794 \text{ Tons} - 1780 \text{ Tons}|}{1794 \text{ Tons}} \cdot 100$	0.7803 %

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente con estos resultados es posible demostrar que el modelo del esquema productivo cubre perfectamente con la demanda fijada como meta anual de producción, pues al concluir el periodo de simulación se logra llevar a los racks 2.491 pallets completamente configurados con 72 cajas por estiba, para un total de 179.400 cajas que contienen 10 bolsas de 1 kilogramo de leche en polvo cada una, dejando un saldo productivo de 1.794.000 bolsas de producto terminado, correspondientes a 1.794 toneladas de leche entera totalmente deshidratada, por lo que se concluye que el sistema diseñado responde con un porcentaje de eficiencia de

100.78%, lo que significa que la planta es capaz de responder con 14 toneladas por encima del valor anual de producción inicialmente esperado.

5.9 Diseños de la Distribución de Planta Maestra

En el presente apartado se exponen tanto los criterios generales de diseño como la planimetría y los renders desarrollados de forma asistida en los cuales es posible apreciar las distintas perspectivas relacionadas con el esquema de distribución en planta propuesto al inicio de este proyecto.

5.9.1 Tipo de Edificio Seleccionado para Emplazar la Planta Productora de Leche en Polvo Entera.

De acuerdo con las características de este proyecto, en el cual se precisa de un espacio considerable y una altura apropiada para ubicar las máquinas de gran envergadura empleadas, el tipo de edificación que se debe seleccionar debe ser escogida y diseñada de acuerdo al criterio de funcionalidad, por lo que el equipo de planificación del proyecto tomó la decisión de emplazar la planta en un edificio de carácter industrial, pues este va dirigido al desarrollo de actividades productivas como lo es el caso de la elaboración de leche deshidratada.



Figura 41 Imagen Representativa del Tipo de Edificación Seleccionada para el Esquema Productivo
Fuente: Fonterra Co-operative Group Ltd. <https://www.fonterra.com/nz/en.html>.

5.9.2 Diseño del Esquema de Distribución en Planta Maestra.

El diseño del esquema de distribución en planta propuesto por el equipo de trabajo, se desarrolló considerando la compilación de todas las necesidades asociadas con la demanda del mercado, la capacidad de producción y la localización de la industria, así como también el espacio ocupado por los equipos y los departamentos que componen el esquema de la planta procesadora de leche en polvo. Para la construcción de los bocetos se utilizaron programas de diseño asistido por ordenador, tales como AutoCAD, Google Sketchup y el software de renderización V-Ray. En este sentido, a continuación considere los siguientes esquemas en donde se exponen tanto la distribución general de la planta como los distintos cortes y vistas de la industria productora de leche en polvo enteran Vida, modelados estrictamente en función del diseño teóricamente desarrollado y validado por el equipo de trabajo.

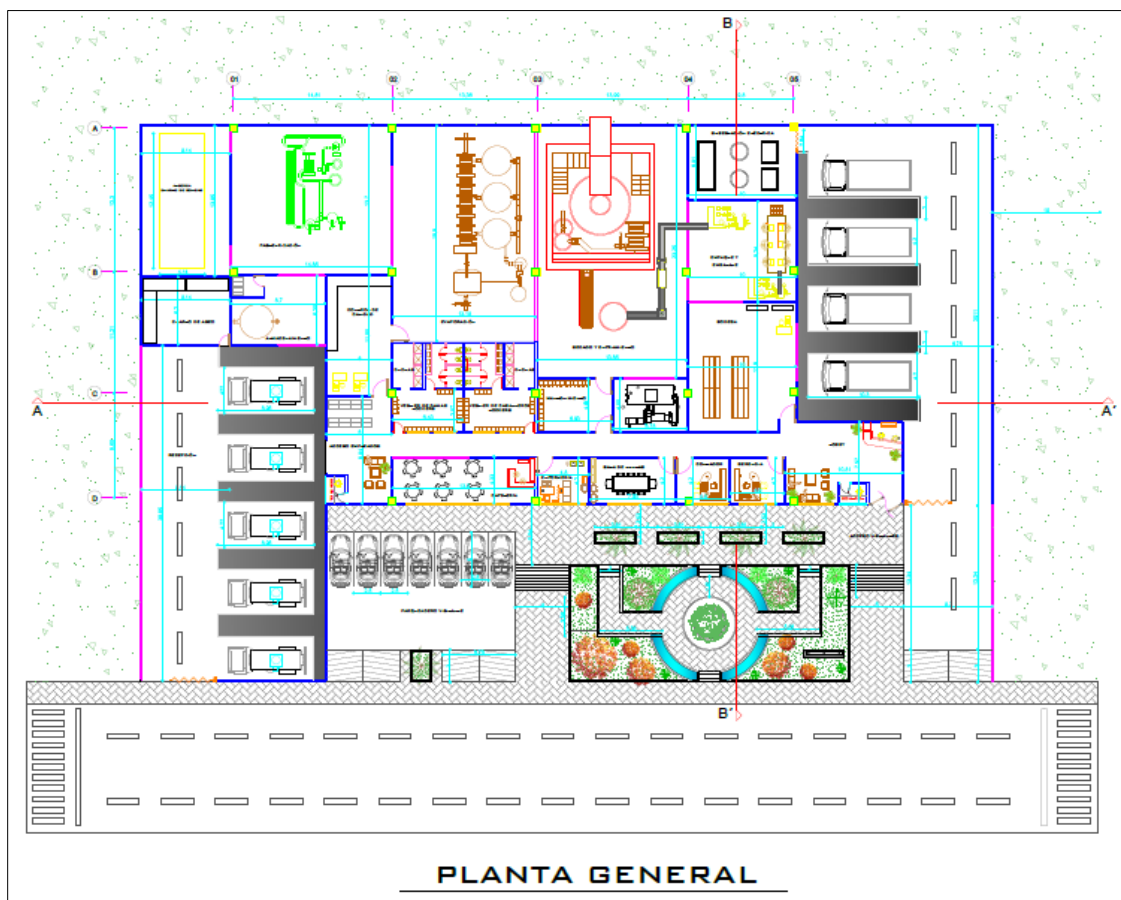


Figura 42 Vista Superior General de la Planta

Fuente: Elaboración Propia Empleando Autodesk AutoCAD 2017.

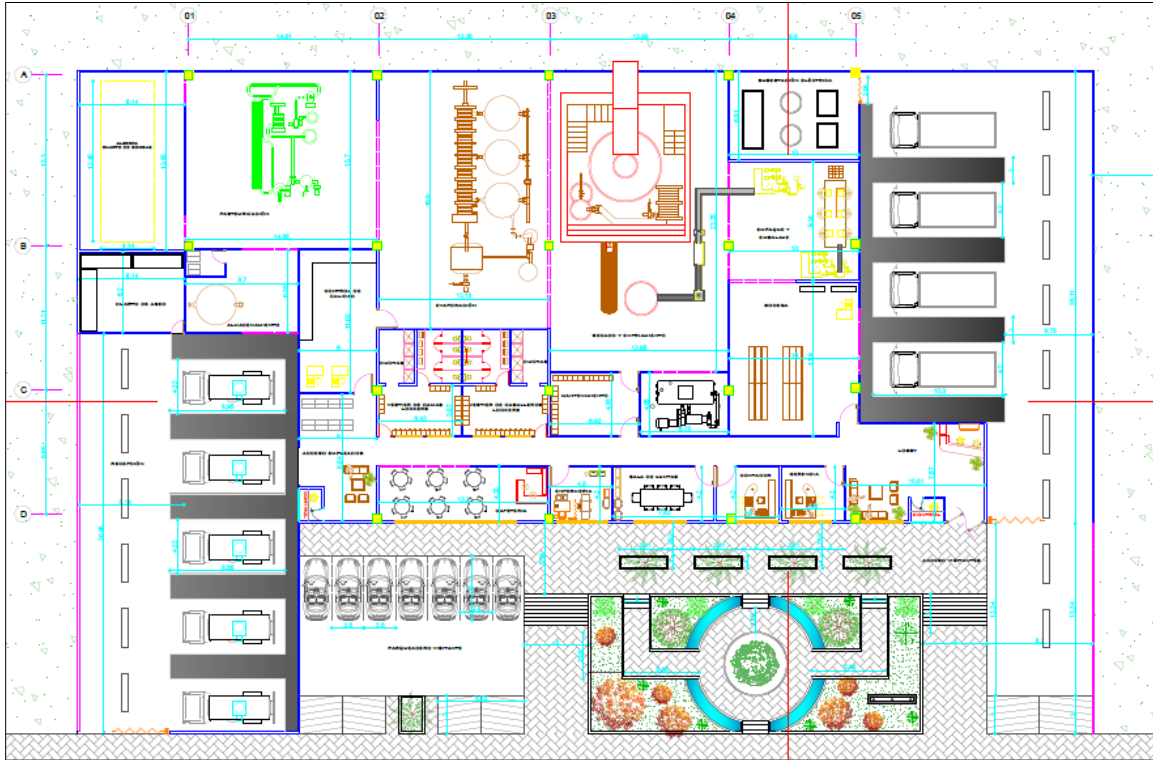


Figura 43 Acercamiento de la Vista Superior de la Planta

Fuente: Elaboración Propia Empleando Autodesk AutoCAD 2017.

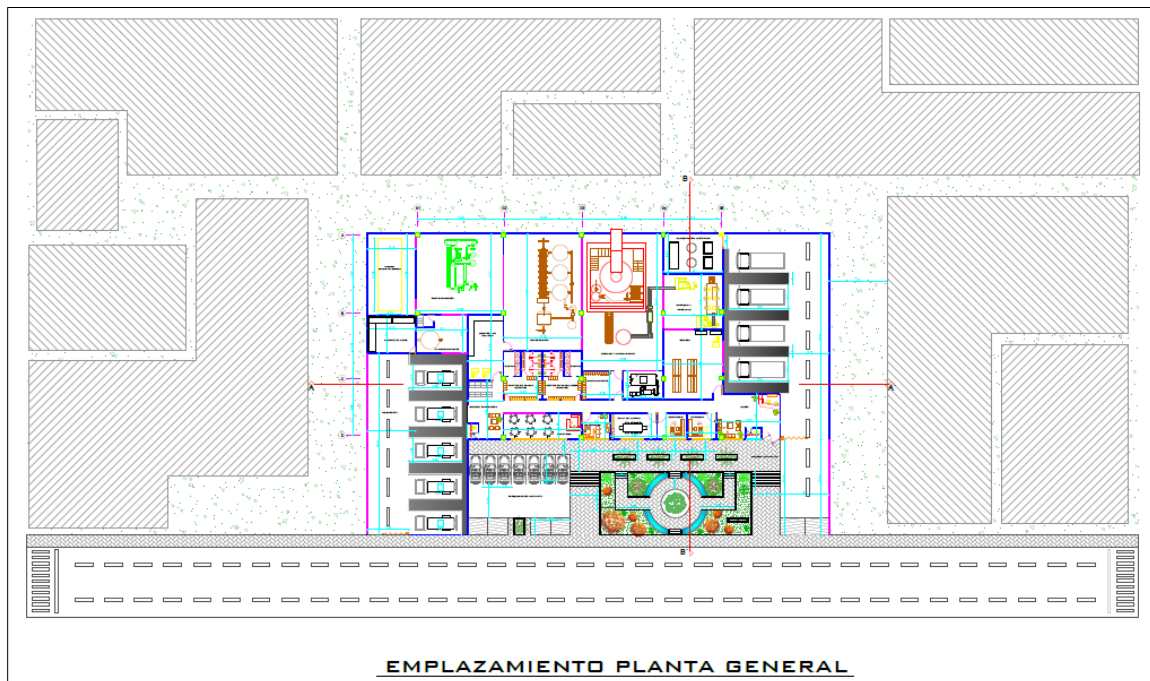


Figura 44 Emplazamiento General de la Planta

Fuente: Elaboración Propia Empleando Autodesk AutoCAD 2017

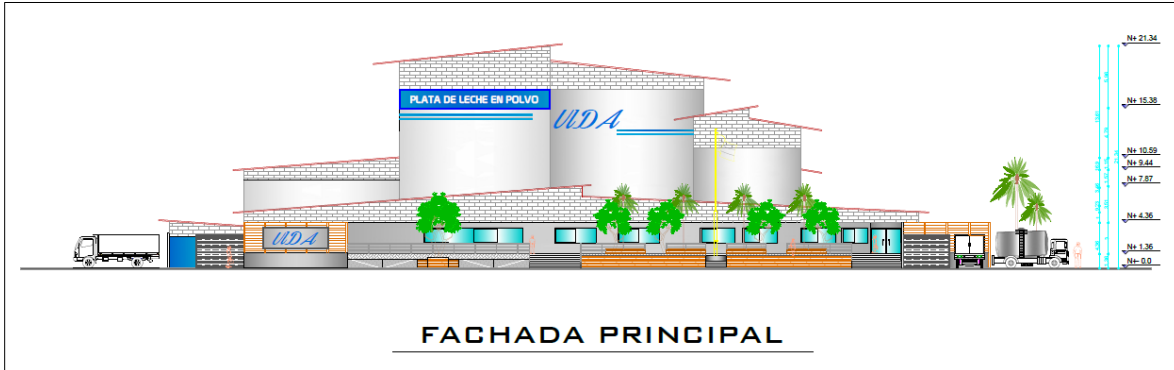


Figura 45 Fachada Principal de la Industria

Fuente: Elaboración Propia Empleando Autodesk AutoCAD 2017.

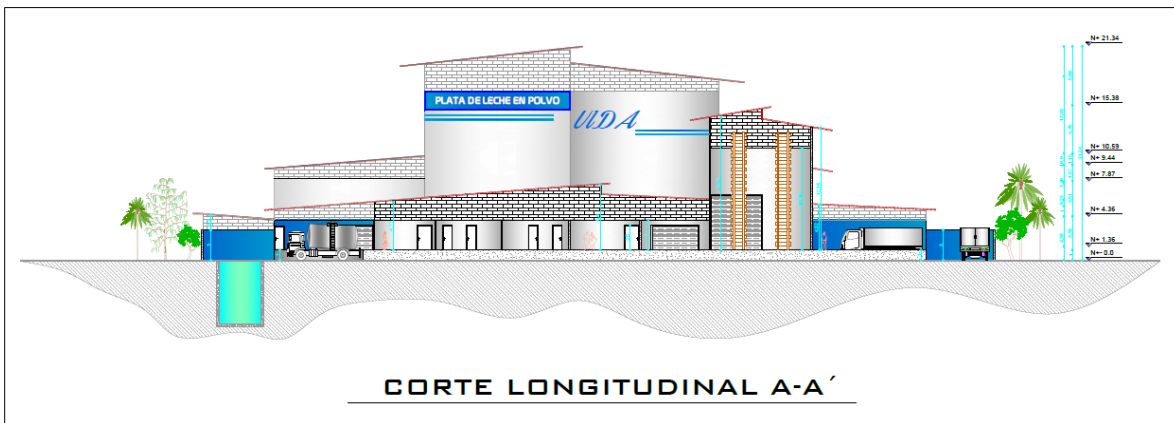


Figura 46 Corte Longitudinal del Exterior de la Planta

Fuente: Elaboración Propia empleando Autodesk AutoCAD 2017.

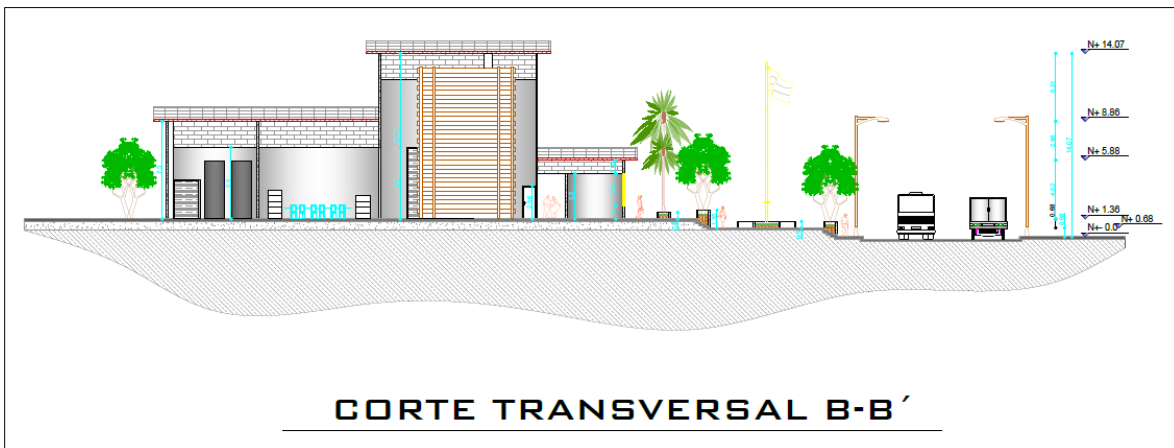


Figura 47 Corte Transversal de la Planta

Fuente: Elaboración Propia Empleando Autodesk AutoCAD 2017.



Figura 48 Fachada de la Industria

Fuente: Elaboración Propia Empleando Google Sketchup 3D Modeling y Vray Sketchup.



Figura 49 Vista Lateral Derecha de la Fachada

Fuente: Elaboración Propia Empleando Google Sketchup 3D Modeling y Vray Sketchup.



Figura 50 Vista Lateral Izquierda de la Fachada

Fuente: Elaboración Propia Empleando Google Sketchup 3D Modeling y Vray Sketchup.



Figura 51 Perspectiva Superior de la Planta

Fuente: Elaboración Propia Empleando Google Sketchup 3D Modeling y Vray Sketchup.

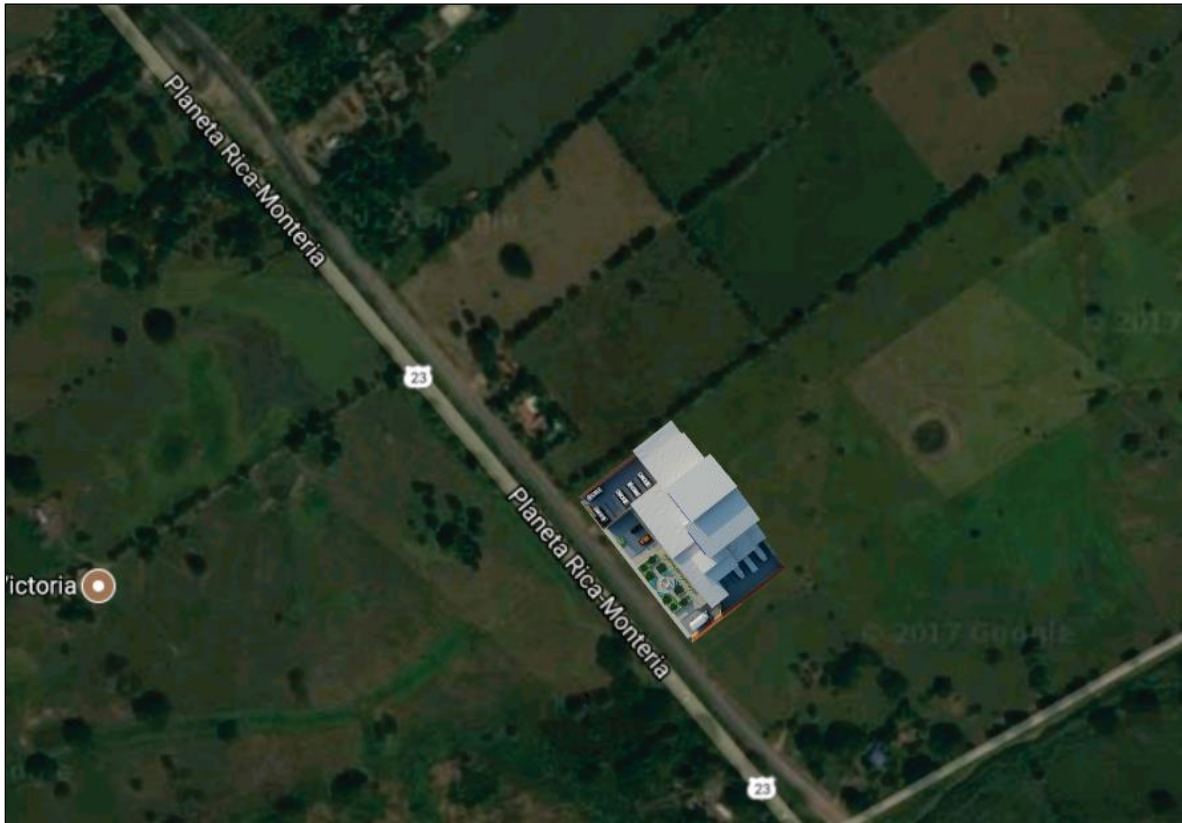


Figura 52 Vista Aérea de La Localización de la Planta

Fuente: Elaboración Propia Empleando Google Sketchup 3D Modeling y Vray Sketchup.

6. Conclusiones

El análisis del proceso productivo de la leche en polvo, el diseño del esquema de distribución de planta, el modelamiento y la simulación en la plataforma de FlexSim v.16, posibilitó el hecho de contar con suficientes herramientas y criterios para emitir el siguiente grupo de consideraciones:

- Para cumplir con el objetivo de caracterizar la capacidad inicial de la planta de conformidad con el comportamiento que exponen las proyecciones para la producción y el consumo anual histórico de leche entera en polvo en Colombia según lo registrado en las estadísticas de la OCDE y la FAO, se precisó emplear una tasa de variación relativa de solo 6,69%, debido a que la razón de crecimiento inicialmente calculada en función a la variación que sufre la brecha de demanda aislada de año a año en el periodo comprendido entre el 2010 al 2023 correspondiente a 13,37%, es demasiado alta respecto a la desviación promedio anual de la producción real de la industria láctea emitida por el DANE, la cual coincide solo con el valor de 7,05%. Sin embargo, a pesar de lo conservadora de la tasa de variación relativa considerada, con ella fue posible fijar el volumen máximo de producción inicial de la fábrica en el momento cero en 1.780 toneladas anuales, de acuerdo con el análisis realizado en el horizonte de viabilidad de 15 años considerado, en el que se pretende lograr cubrir la totalidad de la demanda promedio anual insatisfecha a nivel nacional de 5.017 toneladas.
- De acuerdo con el estudio de localización desarrollado, la opción de instalación más adecuada para ubicar la industria propuesta, es en la zona de influencia de la ciudad de Montería, debido a que esta obtuvo la mayor Medida de Preferencia de Localización, al exponer una MPL máxima de 0,35 respecto a los valores inferiores de las otras opciones consideradas en el análisis. Además de esto, dichos resultados fueron corroborados por la información contenida en la última Encuesta Nacional Agropecuaria desarrollada por el DANE, en la cual es posible evidenciar que de las tres alternativas consideradas por el equipo de diseño, el departamento de Córdoba expone el mayor nivel de producción de

leche fresca, obteniéndose unos 612.764 litros de leche al día, lo que corresponde a un 59.91% más que el departamento de Sucre y a un 28.94% más que el departamento de Bolívar; sin olvidar que además de esto, Córdoba presenta el mayor inventario de ganado productor de leche, registrando alrededor de 1.032.300 cabezas, es decir, 41.83% más que el departamento de Sucre y un 36.86% más que Bolívar, por lo que se concluye que la metodología, los criterios y el enfoque empleado para el análisis de localización del presente proyecto son completamente acertados.

- Gracias al contraste desarrollado entre los tres arreglos obtenidos a través del enfoque planteado por Richard Muther y a los resultados conseguidos a través de la validación realizada en la interfaz del algoritmo Meta-Heurístico ALDEP, fue posible evidenciar que los tres diagramas adimensionales de bloques considerados dentro del estudio SLP, son congruentes con la tercera iteración obtenida a través del software, la cual expone la mejor Calificación de Cercanía Total, exponiendo un valor de TCR de 940 respecto a los dos ensayos iniciales que mostraban valoraciones mínimas aceptables en los ratios de proximidad de 948 para la primera iteración y 942 para la segunda, por lo que se concluye que el esquema diseñado es congruente con la función de la producción del tipo continuo para la elaboración de leche entera en polvo, debido a que su esquema totalmente automatizado precisa de la conservación total de la linealidad en la secuencia de las operaciones desarrolladas y solo se expone ligeras diferencias en la forma de configurar los departamentos auxiliares que no tienen fuertes repercusiones sobre el esquema productivo.
- El proceso de simulación en FlexSim v.16, permitió determinar qué al final del periodo de validación de 1.440 minutos correspondientes a 24 horas, el valor medio de la diferencia absoluta entre cada uno de los tiempos de ciclo asociados a cada una de las operaciones consideradas tanto en el esquema teórico, como en el simulado, es de solo 1 minuto con 42 segundos, con lo cual fue posible modelar un esquema que representa con un porcentaje de eficiencia del 99.74%, el nivel de cumplimiento del tiempo total de la

corrida de producción, para posteriormente someterlo a un proceso de análisis comparativo con dos esquemas propuestos en función a cambios desarrollados en la tecnología de pulverización, de donde fue posible concluir que el esquema inicialmente diseñado permite replicar de manera fidedigna la situación realmente propuesta, debido a que el modelo planteado con un spray por debajo de la capacidad nominal, de la del inicialmente considerado, termina por incrementar el tiempo total de corrida en un 35.6%, como consecuencia directa de los retrasos incurridos en los proceso de pulverización y segregación en el lecho de fluidizado externo, mientras que con el ensayo desarrollado con el equipo de atomización de mayor capacidad se consigue una escasa disminución en el tiempo total de corrida de solo 6.73%, la cual no se hace representativa sobre las políticas de trabajo de esta nueva industria, debido a que obliga a la planta a continuar trabajando bajo el esquema de dos jornadas de 8 horas al día.

- Finalmente el modelo validado fue simulado en un horizonte de un año de actividad, correspondiente a 430.560 minutos, de cuyo ensayo fue posible determinar que el diseño del esquema productivo propuesto, puede responder apropiadamente a la demanda para la que fue diseñado con un nivel de eficiencia de 100.78%, lo que fundamentalmente significa que el sistema es capaz de suplir satisfactoriamente con el 35.47% del promedio de la demanda nacional insatisfecha de leche deshidratada según lo registrado en las tablas claves de la OCDE y la FAO para Colombia, valor que coincide con las 1.780 toneladas anuales de leche entera en polvo, inicialmente consideradas como meta de producción en el proceso de balanceamiento de la línea.

Referencias Bibliográficas

En el presente apartado se exponen las fuentes bibliográficas de la información empleada durante el proceso de investigación desarrollado para la elaboración de este informe:

Asociación Colombiana Procesadora de la Leche (ASOLECHE). (2016). *Boletín Lácteo* (N°527). Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basicpage/files/boletin_lacteo_asoleche_no_527.pdf

Carita, C., y Freddy, A. (2011). *Diseño de Silos*. Lima, Perú: Ediciones Pontificia Universidad Católica.

Cámara Nacional de Industriales de la Leche. (2011). *El Libro Blanco de la Leche y los Productos Lácteos* (1ª edición). México, D.F., México: Litho Offset Imprenta.

Centro Virtual de Negocios (CVN). (2014). *Estudio del Comportamiento del Sector Lácteo Colombiano en el Comercio Exterior*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: <https://www.cvn.com.co/sector-lacteo-colombiano/>

Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana (CEEI CV). (2008). *Manual de Distribución en Planta (N°19)*. Paterna, Valencia: Débase Estudio Grafico.

Concejo Municipal de Sincelejo-Sucre. (2015). *Acuerdo 147 diciembre 17 de 2015 por medio del cual se adopta la revisión estructural del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Sincelejo, Sucre*. Recuperado de: <http://www.alcaldiadesincelejo.gov.co/>

Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES 3675). (2010). *Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/>

Coss, R.B. (1999). *Simulación Un Enfoque Práctico* (2ª edición.). México: Limusa-Noriega Editores.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). *Boletín mensual precio de leche en finca*. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/BolSipsaLeche_mar_2017.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). *Encuesta Mensual Manufacturera [EMM]*. Recuperado de: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_mmm_ene16.pdf

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2015). *Encuesta Mensual Manufacturera [EMM]*. Recuperado de:
http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_mmm_ene15.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2015). *Encuesta Nacional Agropecuaria [ENA]*. Recuperado de:
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_2015.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2014). *Encuesta Mensual Manufacturera [EMM]*. Recuperado de:
http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_mmm_ene14.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2013). *Encuesta Mensual Manufacturera [EMM]*. Recuperado de:
http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_mmm_ene13.pdf
- Gobernación de Sucre. (2016). *Plan de Desarrollo (2016-2019)*. Recuperado de:
<http://www.sucre.gov.co/>
- Gómez-Senent, E. (1997). *El proyecto: diseño en ingeniería*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Heizer, J., y Render, B. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones Estratégicas* (8ª Edición). Madrid: Pearson educación, S.A.CO.
- Mas, D. (2006). *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Aportación al control de la geometría de las actividades* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Recuperado de:
<https://www.researchgate.net/publication/311939744>
- Mavridou, T.D., y Pardalos, P.M. (1997). Simulated Annealing and Genetic Algorithms for the Facility Layout Problem: A Survey. *Computational Optimization and Applications*.
- Meyers, F., y Stephens, M. (2006). *Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales* (3ª Edición). México: Pearson Prentice Hall.
- Meller, R.D., y Gau, K.Y. (1996). Facility layout problem: Recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 15(5), 122-31.
- Ministerio de Transporte. (2017). *Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC*. Pestaña: Calculo Interactivo. Recuperado de:

<http://rndc.mintransporte.gov.co/MenuPrincipal/tabid/204/language/es-MX/Default.aspx?returnurl=%2fDefault.aspx>

Ministerio de la protección social (2006). *Decreto número 616 de 2006. Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendi, importe o exporte en el país*. DO: 46.196. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/>

Moore, J.M. (1962). *Plant layout and design*. New York, United States: MacMillan Company.

Muther, R. (1981). *Distribución en planta*. New York, United States: McGraw Hill.

Niebel, B. W., y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo* (12ª Edición). México: McGraw Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V, Cap. N-3.

OCDE/FAO. (2013). *Perspectivas Agrícolas 2013-2022*. Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3818s.pdf>

Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F., México: McGraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V.

Sapag C. N., y Sapag C. R. (2008). *Decisiones de localización. Preparación y evaluación de proyectos* (5ª edición). Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A. (pp. 202-213).

Shayan E., y Chittilappilly, A. (2004). Genetic algorithm for facilities layout problems based on slicingtree structure. *International Journal of Production Research*, 42.

Tate D.M., y Smith, A.E. (1995). Unequal-area facility layout by genetic search. *AIE Transactions*, 27.

Vallhonrat, J., y Corominas, A. (1991). *Localización, Distribución en Planta y Manutención*. Barcelona, España: Marcombo Boixareu Editores.

Anexos

Resultados Completos de los Experimentos Desarrollados

Anexo 1. Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo de [1983-1989] en Miles de Toneladas

Country		Colombia						
Variable		Production						
Time		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Commodity								
Milk		2.729,06	2.854,84	2.903,30	3.109,60	3.240,12	3.461,38	3.755,62
Fresh dairy products		2.301,82	2.417,58	2.455,53	2.678,41	2.807,20	3.053,75	3.379,33
Butter (pw)		13,00	13,80	14,00	14,00	14,40	14,40	14,50
Cheese (pw)		47,25	48,00	49,50	49,95	51,00	51,00	51,00
Skim milk powder (pw)		..	..	..	..	..	..	..
Whole milk powder (pw)		13,80	13,90	14,00	14,50	14,50	14,50	14,50
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..

Anexo 2. Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo de [1990-1999] en Miles de Toneladas

Country		Colombia									
Variable		Production									
Time		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Commodity											
Milk		4.037,29	4.259,37	4.344,53	4.561,76	4.768,17	5.078,08	5.332,03	5.492,03	5.711,64	5.733,84
Fresh dairy products		3.686,79	3.934,25	4.028,69	4.278,32	4.508,32	4.865,00	5.011,69	5.091,78	5.298,07	5.312,94
Butter (pw)		14,78	14,78	14,80	14,80	14,80	14,80	14,80	17,44	18,16	18,36
Cheese (pw)		51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00
Skim milk powder (pw)		..	..	..	..	..	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Whole milk powder (pw)		14,50	14,50	14,50	13,50	13,50	12,00	30,00	35,00	37,90	38,60
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Anexo 3. Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo de [2000-2009] en Miles de Toneladas

Country		Colombia									
Variable		Production									
Time		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Commodity											
Milk		6.148,05	6.301,75	6.553,82	6.652,12	6.446,79	6.319,94	6.817,27	6.725,44	7.431,48	6.285,41
Fresh dairy products		5.770,54	5.921,95	6.179,18	6.274,22	6.027,14	5.868,61	6.422,78	6.320,45	7.107,18	5.828,34
Butter (pw)		18,40	18,80	19,20	19,60	20,00	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20
Cheese (pw)		51,00	52,50	54,00	54,75	55,50	57,00	57,00	57,00	57,00	57,00
Skim milk powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00
Whole milk powder (pw)		39,00	39,00	39,50	39,50	40,00	40,25	40,25	40,25	40,25	40,25
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Anexo 4. Producción de Lácteos en Colombia para el Periodo [2010-2023] en Miles de Toneladas

Country		Colombia													
Variable		Production													
Time		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Commodity															
Milk		6.285,13	6.284,15	6.300,15	6.350,15	6.742,97	6.579,35	6.616,86	6.737,49	6.891,69	7.206,74	7.180,68	7.345,83	7.645,48	7.504,09
Fresh dairy products		5.775,81	5.774,74	5.754,00	5.780,79	6.204,43	5.979,66	5.990,33	6.088,10	6.218,49	6.543,31	6.483,39	6.650,35	6.965,11	6.760,12
Butter (pw)		20,00	20,00	20,00	20,00	22,80	21,38	21,12	21,30	21,62	22,80	22,33	22,83	23,99	22,81
Cheese (pw)		65,10	65,10	70,50	74,55	66,83	72,64	75,98	78,82	81,67	82,87	85,86	87,33	88,14	93,10
Skim milk powder (pw)		3,60	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Whole milk powder (pw)		40,25	40,25	40,25	40,25	40,93	45,34	47,08	48,73	50,54	49,31	51,97	51,32	49,59	54,76
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Anexo 5. Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo de [1983-1989] en Miles de Toneladas

Country		Colombia						
Variable		Consumption						
Time		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Commodity								
Milk		..	..	..	..	..	..	..
Fresh dairy products		2.301,82	2.417,58	2.455,53	2.678,41	2.807,20	3.053,75	3.379,33
Butter (pw)		13,63	13,80	13,96	14,11	14,24	14,38	14,52
Cheese (pw)		44,81	46,18	47,43	48,52	49,42	50,13	50,65
Skim milk powder (pw)		9,06	7,86	6,67	5,57	4,63	3,86	3,25
Whole milk powder (pw)		13,22	13,47	13,76	14,12	14,61	15,25	16,10
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..

Anexo 6. Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo de [1990-1999] en Miles de Toneladas

Country		Colombia									
Variable		Consumption									
Time		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Commodity											
Milk		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Fresh dairy products		3.686,79	3.934,25	4.028,69	4.278,32	4.508,32	4.865,00	5.011,69	5.091,78	5.298,07	5.312,94
Butter (pw)		14,67	14,86	15,07	15,34	15,65	16,03	16,44	16,89	17,34	17,76
Cheese (pw)		51,02	51,25	51,38	51,41	51,38	51,30	51,20	51,10	51,02	50,99
Skim milk powder (pw)		2,82	2,55	2,43	2,41	2,47	2,57	2,66	2,70	2,65	2,50
Whole milk powder (pw)		17,21	18,63	20,38	22,46	24,81	27,34	29,87	32,08	33,73	34,72
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Anexo 7. Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo de [2000-2009] en Miles de Toneladas

Country		Colombia									
Variable		Consumption									
Time		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Commodity											
Milk		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Fresh dairy products		5.770,54	5.921,95	6.179,18	6.274,22	6.027,14	5.868,61	6.422,78	6.320,45	7.107,18	5.828,34
Butter (pw)		18,14	18,48	18,78	19,03	19,25	19,44	19,60	19,74	19,85	19,95
Cheese (pw)		51,05	51,23	51,57	52,07	52,76	53,70	54,91	56,43	58,28	60,45
Skim milk powder (pw)		2,26	1,97	1,68	1,43	1,30	1,35	1,60	2,06	2,71	3,49
Whole milk powder (pw)		35,18	35,24	35,05	34,85	34,81	35,09	35,76	36,83	38,26	40,02
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Anexo 8. Consumo de Lácteos en Colombia para el Periodo de [2010-2023] en Miles de Toneladas

Country		Colombia													
Variable		Consumption													
Time		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Commodity															
Milk		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Fresh dairy products		5.775,81	5.774,74	5.754,00	5.780,79	6.204,43	5.979,66	5.990,33	6.088,10	6.218,49	6.543,31	6.483,39	6.650,35	6.965,11	6.760,12
Butter (pw)		20,03	20,10	20,17	20,25	22,90	21,48	21,22	21,40	21,72	22,90	22,43	22,93	24,09	22,90
Cheese (pw)		62,92	65,59	68,39	71,25	68,62	74,43	77,78	80,61	83,46	84,66	87,65	89,13	89,93	94,90
Skim milk powder (pw)		4,33	5,23	6,16	7,11	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40
Whole milk powder (pw)		42,03	44,20	46,42	48,61	45,93	50,34	52,08	53,72	55,54	54,31	56,97	56,32	54,59	59,75
Whey powder (pw)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casein (pw)		..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE UNA INDUSTRIA
PRODUCTORA DE LECHE EN POLVO.



Anexo 9. Producción de Leche Obtenida el Día Anterior a la Entrevista del DANE, por Destino, según Departamentos

Departamento	Número de vacas en ordeño		Total leche		Leche procesada en finca		Leche consumida en finca		Leche vendida							
									Total leche vendida		Industria		Intermediario		Otro	
	Cabezas	Cve	Litros	Cve	Litros	Cve	Litros	Cve	Litros	Cve	Litros	Cve	Litros	Cve	Litros	Cve
Total 26 departamentos¹	2.883.644	2,6	16.663.197	4,4	1.792.060	17,8	1.416.691	4,3	13.454.446	4,8	7.669.153	7,6	5.593.630	4,7	191.662	14,9
Total 22 departamentos	2.618.170	2,6	15.544.788	4,7	1.694.271	18,8	1.305.220	4,5	12.545.297	5,0	7.404.501	7,8	4.964.110	5,0	176.686	15,7
Antioquia	346.556	9,9	3.440.266	14,9	338.288	51,7	231.762	14,8	2.870.216	16,6	2.705.745	17,5	148.468	27,9	16.003	30,4
Atlántico	30.449	20,1	318.863	56,5	24.358	64,0	29.439	78,1	265.066	54,0	86.972	38,9	177.162	69,4	932	81,2
Bolívar	158.730	12,0	546.019	14,2	41.966	32,4	28.846	17,2	475.207	15,8	89.758	41,6	368.620	18,7	16.829	52,3
Boyacá	235.638	7,2	1.654.238	10,9	145.135	15,1	111.706	8,6	1.397.398	12,7	540.364	21,7	843.049	15,9	13.984	45,9
Caldas	31.195	15,5	175.457	23,3	25.893	58,8	25.882	15,9	123.682	31,8	95.164	39,7	27.314	36,8	1.204	63,0
Cauca	46.441	16,4	276.507	20,6	26.634	33,2	41.613	18,5	208.261	26,7	14.339	44,8	177.810	31,0	16.112	30,1
Cesar	219.321	8,5	732.011	9,1	60.288	22,6	21.416	23,9	650.308	10,1	521.272	11,5	129.036	20,6	0	-
Córdoba	187.936	10,2	763.804	16,8	39.934	23,5	111.106	12,7	612.764	19,7	348.519	32,2	243.426	15,8	20.819	89,2
Cundinamarca	277.566	6,7	2.710.603	9,4	129.118	29,9	144.023	8,0	2.437.461	10,1	1.739.549	13,7	667.205	10,5	30.708	32,9
Huila	63.987	11,9	526.619	48,8	285.680	87,1	38.659	13,6	202.279	15,8	44.012	53,9	141.772	14,6	16.495	27,9
La Guajira	51.881	20,9	171.919	27,7	16.237	26,4	37.694	48,7	117.989	39,6	83.999	56,0	33.283	31,0	706	97,6
Magdalena	239.131	11,1	734.199	11,9	165.524	26,7	35.247	15,0	533.428	12,9	223.828	21,7	309.527	19,2	74	98,0
Meta	59.075	12,3	241.353	16,2	43.196	23,6	45.269	13,0	152.888	23,2	56.583	31,9	96.305	27,3	0	-
Nariño	117.354	7,8	990.428	7,8	31.262	33,1	56.379	9,5	902.787	8,2	283.416	18,2	613.093	9,6	6.278	41,7
Norte de Santander	51.058	10,5	188.224	12,1	60.159	20,9	26.600	12,2	101.465	18,9	20.041	56,0	81.423	20,0	0	-
Quindío	15.508	21,0	146.736	33,1	4.864	65,7	13.879	31,9	127.992	36,4	94.071	48,3	33.686	28,9	234	96,7
Risaralda	15.112	23,1	169.749	32,3	753	66,1	7.495	19,4	161.501	33,7	110.225	48,0	45.543	27,7	5.733	60,9
Santander	112.548	10,9	423.823	10,7	35.398	16,9	73.921	10,5	314.504	14,1	71.024	31,1	238.395	14,9	5.085	41,0
Sucre	177.125	8,5	489.859	8,6	39.792	17,5	66.890	7,0	383.177	10,6	74.627	37,6	307.108	9,8	1.442	39,2
Tolima	80.060	10,7	396.460	17,5	111.512	46,4	63.963	19,2	220.984	19,0	85.439	37,6	113.704	19,2	21.841	48,6
Valle del Cauca	43.964	17,9	258.007	17,4	12.419	93,1	43.290	47,7	202.298	19,3	79.032	41,8	121.061	18,1	2.205	57,9
Casanare	57.535	18,8	189.643	20,7	55.861	27,2	50.141	13,6	83.641	33,8	36.523	68,5	47.118	34,8	0	-
Total 4 departamentos	265.474	10,3	1.118.409	10,6	97.789	28,3	111.471	16,2	909.149	12,2	264.652	28,7	629.521	14,7	14.975	43,8
Caquetá	160.559	12,5	719.580	13,7	58.261	42,3	30.894	22,6	630.426	15,4	211.511	32,0	418.916	19,8	0	-
Arauca	68.033	25,7	217.632	20,7	3.913	62,5	28.673	39,1	185.046	21,7	11.422	54,4	169.252	22,9	4.372	58,3
Putumayo	22.459	19,3	142.036	31,3	34.595	35,5	18.988	23,5	88.453	40,5	41.719	82,3	38.333	27,5	8.400	67,3
Vichada	14.422	36,3	39.160	37,7	1.021	78,2	32.917	35,0	5.223	97,8	0	-	3.020	99,1	2.203	95,9



Anexo 10. Inventario de Ganado Vacuno por Departamento según la Intención del Productor

Departamento	Total ganado		Orientación del inventario ganadero					
			Leche		Doble propósito		Total carne	
	Cabezas	Cve	Cabezas	Cve	Cabezas	Cve	Cabezas	Cve
Total 26 departamentos¹	22.923.826	2,1	3.428.202	4,5	9.018.203	3,5	10.473.067	4,1
Total 22 departamentos	20.209.992	2,1	3.087.919	4,4	7.436.704	3,5	9.681.014	4,2
Antioquia	2.437.249	7,5	467.830	11,8	670.467	13	1.298.952	14,1
Atlántico	159.948	12,8	48.075	36,2	92.275	13,9	19.598	55,7
Bolívar	821.588	9,1	82.160	26,9	672.078	11,1	67.350	26,8
Boyacá	1.005.407	5	258.648	12,5	465.229	7	281.530	11,5
Caldas	374.272	10,2	70.032	44,1	57.958	24,6	246.281	18,2
Cauca	355.720	9	70.782	17,2	160.138	13,7	124.800	13,9
Cesar	1.331.827	5,6	271.971	17,5	732.316	10,1	327.540	14,7
Córdoba	2.057.246	6,6	136.729	27,1	895.572	13,9	1.023.272	11,1
Cundinamarca	1.232.649	4,5	446.428	6,6	384.957	11,6	401.265	10,7
Huila	366.419	7,5	116.948	13,7	111.732	14	137.739	15
La Guajira	261.930	20,6	22.420	43,3	204.738	26,8	34.772	53,6
Magdalena	1.179.983	7,6	258.463	26,4	713.454	14,6	208.066	32,4
Meta	1.831.651	6,6	36.629	28,1	314.892	18,2	1.480.130	7,8
Nariño	334.673	5,2	223.309	7	60.270	14,3	51.094	18
Norte de Santander	411.361	10,3	67.701	20,5	195.652	11,5	148.008	26,2
Quindío	77.695	18,7	35.981	30,5	14.347	22,6	27.366	29
Risaralda	109.841	15,6	31.935	32,7	13.950	24,6	63.956	19,7
Santander	1.324.112	7	157.083	18,4	388.493	14,8	778.536	13,4
Sucre	855.976	6	74.260	33,1	653.543	7,3	128.173	28,3
Tolima	920.120	6,7	151.280	18,9	279.726	12,1	489.114	11,5
Valle del Cauca	458.125	9,3	36.769	21	115.829	26,3	302.848	13,6
Casanare	2.302.199	11,4	22.486	51	239.090	29,6	2.040.623	13
Total 4 departamentos	2.713.834	7,4	340.283	21,3	1.581.498	11,1	792.053	18,2
Caquetá	844.241	10,2	254.932	24,1	396.596	16,1	192.713	32,1
Arauca	1.147.287	11,8	44.981	63,2	838.736	16,3	263.570	32,1
Putumayo	186.282	13,8	7.719	30,6	137.115	17,3	41.448	34,1
Vichada	536.023	22	32.650	78,7	209.051	41,6	294.322	33,3

Anexo 11. Reporte de Análisis Estadístico de la Simulación del Modelo Diseñado en Función al Balanceamiento de la Línea en FlexSim

Flexsim Summary Report	
Time:	1.440.000.000

Object	Class	stats_content	stats_contentmin	stats_contentmax	stats_contentavg	stats_input	stats_output	stats_staytimemin
MILK GENERATOR	FluidGenerator	47.680.000.000	0.000000	48.000.000.000	2.547.668.222	0.000000	48.320.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	320.000.000	0.000000	338.240.000	35.665.111	48.320.000.000	48.000.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.936.990.896	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	510.000.000	51.384.521	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	333.330.000	33.486.042	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	446.760.000	44.829.375	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.938.898.417	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	388.620.000	40.334.583	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	161.340.000	16.666.667	48.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	322.680.000	33.333.333	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	24.000.000.000	2.255.578.306	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	256.320.000	21.459.778	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToltem	0.000000	0.000000	200.000.000	0.000000	24.000.000.000	6.000.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	0.000000	0.000000	6.000.000.000	673.000.000	6.000.000.000	6.000.000.000	161.520.000
MILK POWDER SILO	Queue	0.000000	0.000000	3.704.000.000	401.838.125	6.000.000.000	6.000.000.000	0.000000
PACKING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	1.215.840	12.001.000.000	6.000.000.000	0.016667
PACKAGE BAGS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.001.000.000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	1.000.000	0.000000	11.000.000	2.538.037	6.601.000.000	600.000.000	0.424833
BOXES	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	601.000.000	0.044588
PALLETS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.000.000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	0.999987	609.000.000	608.000.000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000925	8.000.000	8.000.000	0.098506
LIFT TRUCK	Transporter	0.000000	0.000000	1.000.000	0.001142	8.000.000	8.000.000	0.125087
RACK 1	Rack	4.000.000	0.000000	4.000.000	1.848.965	4.000.000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	4.000.000	0.000000	4.000.000	1.744.048	4.000.000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.000000	0.000000	1.000.000	0.023065	601.000.000	601.000.000	0.055263



Continuación del Anexo 11. Reporte de Análisis Estadístico de la Simulación del Modelo Diseñado en Función al Balanceamiento de la Línea en FlexSim

Object	Class	stats_staytimemax	stats_staytimeavg	state_current	processing	empty	releasing
MILK GENERATOR	FluidGenerator	0.000000	0.000000	24.000.000	0.000000	1.288.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	0.000000	0.000000	25.000.000	0.000000	1.288.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.145.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.294.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	145.000.000	1.295.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.294.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.146.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.290.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	149.000.000	1.291.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.290.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.171.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.319.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToltem	0.000000	0.000000	7.000.000	0.000000	458.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	161.520.000	161.520.000	1.000.000	160.520.000	0.000000	0.000000
MILK POWDER SILO	Queue	194.191.712	96.441.150	6.000.000	0.000000	1.126.808.288	313.191.712
PACKING MACHINE	Combiner	620.687.247	0.155552	7.000.000	100.000.000	0.000000	0.000000
PACKAGE BAGS	Source	620.669.703	0.139159	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	621.154.999	1.459.384	7.000.000	200.000.000	0.000000	0.000000
BOXES	Source	621.237.993	1.540.099	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETS	Source	660.630.111	102.773.212	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	660.646.168	1.521.525	7.000.000	16.457.143	0.000000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.227052	0.166578	6.000.000	0.000000	1.438.667.376	0.000000
LIFT TRUCK	Transporter	0.300797	0.205486	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 1	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.055263	0.055263	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000



Anexo 12. Reporte de Análisis Estadístico del Primer Escenario Alternativo de Simulación con Spray-Dryer de 4000 Litros

Flexsim Summary Report	
Time:	1.440.000.000

Object	Class	stats_content	stats_contentmin	stats_contentmax	stats_contentavg	stats_input	stats_output	stats_staytimemin
MILK GENERATOR	FluidGenerator	47.680.000.000	0.000000	48.000.000.000	2.547.668.222	0.000000	48.320.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	320.000.000	0.000000	338.240.000	35.665.111	48.320.000.000	48.000.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.936.990.896	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	510.000.000	51.384.521	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	333.330.000	33.486.042	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	446.760.000	44.829.375	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.938.898.417	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	388.620.000	40.334.583	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	161.340.000	16.666.667	48.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	322.680.000	33.333.333	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	24.000.000.000	4.246.269.714	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	256.320.000	64.101.553	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToItem	0.000000	0.000000	69.334.530	0.000000	24.000.000.000	6.000.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	0.000000	0.000000	2.700.000.000	673.000.000	6.000.000.000	6.000.000.000	161.520.000
MILK POWDER SILO	Queue	0.000000	0.000000	16.000.000	0.272225	6.000.000.000	6.000.000.000	0.000000
PACKING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	1.127.310	12.001.000.000	6.000.000.000	0.016667
PACKAGE BAGS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.001.000.000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	1.000.000	0.000000	11.000.000	2.730.585	6.601.000.000	600.000.000	0.424833
BOXES	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	601.000.000	0.044588
PALLETS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.000.000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	0.999987	609.000.000	608.000.000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000908	8.000.000	8.000.000	0.098539
LIFT TRUCK	Transporter	0.000000	0.000000	1.000.000	0.001068	8.000.000	8.000.000	0.114142
RACK 1	Rack	4.000.000	0.000000	4.000.000	1.783.023	4.000.000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	4.000.000	0.000000	4.000.000	1.662.990	4.000.000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.000000	0.000000	1.000.000	0.023065	601.000.000	601.000.000	0.055263



Continuacion del Anexo 12. Reporte de Análisis Estadístico del Primer Escenario Alternativo de Simulación con Spray-Dryer de 4000 Litros

Object	Class	stats_staytimemax	stats_staytimeavg	state_current	processing	empty	releasing
MILK GENERATOR	FluidGenerator	0.000000	0.000000	24.000.000	0.000000	1.288.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	0.000000	0.000000	25.000.000	0.000000	1.288.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.145.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.294.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	145.000.000	1.295.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.294.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.146.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.290.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	149.000.000	1.291.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.290.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	931.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.077.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToItem	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.079.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	161.520.000	161.520.000	1.000.000	256.040.000	0.000000	0.000000
MILK POWDER SILO	Queue	0.133337	0.065334	6.000.000	0.000000	1.392.998.800	47.001.200
PACKING MACHINE	Combiner	622.687.247	0.163415	7.000.000	100.000.000	0.000000	0.000000
PACKAGE BAGS	Source	622.669.703	0.147024	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	623.154.999	1.538.031	7.000.000	200.000.000	0.000000	0.000000
BOXES	Source	623.237.993	1.618.599	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETS	Source	668.275.813	107.807.134	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	668.291.870	1.596.044	7.000.000	16.457.143	0.000000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.226986	0.163491	6.000.000	0.000000	1.438.692.075	0.000000
LIFT TRUCK	Transporter	0.242320	0.192329	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 1	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.055263	0.055263	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000



Anexo 13. Reporte de Análisis Estadístico del Segundo Escenario Alternativo de Simulación con Spray-Dryer de 24000 Litros

Flexsim Summary Report	
Time:	1.440.000.000

Object	Class	stats_content	stats_contentmin	stats_contentmax	stats_contentavg	stats_input	stats_output	stats_staytimemin
MILK GENERATOR	FluidGenerator	47.680.000.000	0.000000	48.000.000.000	2.547.668.222	0.000000	48.320.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	320.000.000	0.000000	338.240.000	35.665.111	48.320.000.000	48.000.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.936.990.896	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	510.000.000	51.384.521	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	333.330.000	33.486.042	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	446.760.000	44.829.375	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.938.898.417	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	388.620.000	40.334.583	48.000.000.000	48.000.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	161.340.000	16.666.667	48.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	322.680.000	33.333.333	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	24.000.000.000	2.024.000.083	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	256.320.000	16.666.667	24.000.000.000	24.000.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToItem	0.000000	0.000000	260.160.000	0.000000	24.000.000.000	6.000.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	0.000000	0.000000	6.000.000.000	673.000.000	6.000.000.000	6.000.000.000	161.520.000
MILK POWDER SILO	Queue	0.000000	0.000000	4.199.000.000	456.733.958	6.000.000.000	6.000.000.000	0.000000
PACKING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	1.215.840	12.001.000.000	6.000.000.000	0.016667
PACKAGE BAGS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.001.000.000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	1.000.000	0.000000	11.000.000	2.538.037	6.601.000.000	600.000.000	0.424833
BOXES	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	601.000.000	0.044588
PALLETS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.000.000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	0.999987	609.000.000	608.000.000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000922	8.000.000	8.000.000	0.098506
LIFT TRUCK	Transporter	0.000000	0.000000	1.000.000	0.001142	8.000.000	8.000.000	0.125087
RACK 1	Rack	4.000.000	0.000000	4.000.000	1.851.746	4.000.000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	4.000.000	0.000000	4.000.000	1.746.826	4.000.000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.000000	0.000000	1.000.000	0.023065	601.000.000	601.000.000	0.055263



Continuacion del Anexo 13. Reporte de Análisis Estadístico del Segundo Escenario Alternativo de Simulación con Spray-Dryer de 24000 Litros

Object	Class	stats_staytimemax	stats_staytimeavg	state_current	processing	empty	releasing
MILK GENERATOR	FluidGenerator	0.000000	0.000000	24.000.000	0.000000	1.288.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	0.000000	0.000000	25.000.000	0.000000	1.288.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.145.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.294.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	145.000.000	1.295.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.294.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.146.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.290.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	149.000.000	1.291.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.290.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.198.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.346.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToItem	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	1.345.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	161.520.000	161.520.000	1.000.000	160.520.000	0.000000	0.000000
MILK POWDER SILO	Queue	220.191.712	109.616.150	6.000.000	0.000000	1.126.808.288	313.191.712
PACKING MACHINE	Combiner	619.687.247	0.155385	7.000.000	100.000.000	0.000000	0.000000
PACKAGE BAGS	Source	619.669.703	0.138993	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	620.154.999	1.457.717	7.000.000	200.000.000	0.000000	0.000000
BOXES	Source	620.237.993	1.538.435	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETS	Source	659.630.111	102.662.101	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	659.646.168	1.519.880	7.000.000	16.457.143	0.000000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.222035	0.165952	6.000.000	0.000000	1.438.672.382	0.000000
LIFT TRUCK	Transporter	0.300797	0.205527	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 1	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.055263	0.055263	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000



Anexo 14. Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones Desarrolladas en la Planta en Función al Balanceamiento de la Línea de Producción

Proceso	Inicio	Tiempos de Ciclo					Fin
		Duración [Mins]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en formato de hora	
Periodo sin actividad	00:00:00	360	6	0	0	06:00:00	06:00:00
Acopio de la Leche Cruda en el Silo	06:00:00	151,06	2	31	3,42	02:31:03	08:31:03
Proceso de Pasteurización	08:31:03	146,87	2	27	52,20	02:26:52	10:57:55
Evaporación o Concentración	10:57:55	151,06	2	31	3,64	02:31:03	13:28:58
Atomización y Secado del Concentrado Lácteo	13:28:58	121,28	2	1	16,90	02:01:16	15:30:14
Vibrofluidificación y Acopio en el Silo de Leche Polvo	15:30:14	156,52	2	37	31,20	02:36:31	18:06:45
Empacado	18:06:45	100,17	1	40	10,00	01:40:10	19:46:55
Embalado	19:46:55	54,71	0	55	42,40	00:54:42	20:41:37
Paletizado	20:41:37	17,14	0	17	8,40	00:17:08	20:58:45
Almacenamiento del Producto Terminado	20:58:45	40	0	40	0	00:40:00	21:38:45
Periodo sin Actividad	21:38:45	120	2	0	0	02:00:00	23:38:45

Anexo 15. Tiempos de Ciclo Asociados a las Operaciones Desarrolladas en la Planta en Función al Modelo Simulado en FlexSim V.16

Proceso	Inicio	Tiempos de ciclo					Fin
		Duración [MINS]	Horas	Minutos	Segundos	Duración en formato de hora	
Periodo sin actividad	00:00:00	360	6	0	0	06:00:00	06:00:00
Acopio de la Leche Cruda en el Silo	06:00:00	152,00	2	32	0,00	02:32:00	08:32:00
Proceso de Pasteurización	08:32:00	145,00	2	25	0,00	02:25:00	10:57:00
Evaporación o Concentración	10:57:00	149,00	2	29	0,00	02:29:00	13:26:00
Atomización y Secado del Concentrado Lácteo	13:26:00	122,09	2	2	5,40	02:02:05	15:28:05
Vibrofluidificación y Acopio en el Silo de Leche Polvo	15:28:05	160,52	2	41	31,20	02:40:31	18:08:36
Empacado	18:08:36	100,00	1	40	0,00	01:40:00	19:48:36
Embalado	19:48:36	50,61	0	51	36,60	00:50:36	20:39:12
Paletizado	20:39:12	16,45	0	16	27,00	00:16:27	20:55:39
Almacenamiento del Producto Terminado	20:55:39	40,70	0	41	42,22	00:40:42	21:36:21
Periodo sin Actividad	21:36:21	120	2	0	0	02:00:00	23:36:21



ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE UNA INDUSTRIA PRODUCTORA DE LECHE EN POLVO.



Anexo16. Reporte de Análisis Estadístico de la Simulación del Modelo Diseñado en Función al Balanceamiento de la Línea en FlexSim para un Periodo de Validación de 430.560 Minutos

Flexsim Summary Report								
Time:		430.560.000.000						
Object	Class	stats_content	stats_contentmin	stats_contentmax	stats_contentavg	stats_input	stats_output	stats_staytimemin
MILK GENERATOR	FluidGenerator	0.000000	0.000000	48.000.000.000	2.522.967.001	0.000000	14.400.000.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	0.000000	0.000000	338.240.000	35.561.427	14.400.000.000.000	14.400.000.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.953.502.571	14.400.000.000.000	14.400.000.000.003	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	510.000.000	51.556.375	14.400.000.000.003	14.400.000.000.003	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	333.330.000	33.598.035	14.400.000.000.003	14.400.000.000.003	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	446.760.000	44.979.306	14.400.000.000.003	14.400.000.000.003	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	48.000.000.000	4.955.416.472	14.400.000.000.003	14.399.999.999.992	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	388.620.000	40.469.482	14.399.999.999.992	14.399.999.999.992	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	161.340.000	16.722.408	14.399.999.999.992	7.199.999.999.996	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	322.680.000	33.444.816	7.199.999.999.996	7.199.999.999.996	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	24.000.000.000	2.263.122.046	7.199.999.999.996	7.200.000.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	256.320.000	21.531.550	7.200.000.000.000	7.200.000.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidToltem	0.000000	0.000000	200.000.000	0.000000	7.200.000.000.000	1.800.000.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	6.000.000.000	0.000000	6.000.000.000	674.107.860	1.800.000.000.000	1.794.000.000.000	161.520.000
MILK POWDER SILO	Queue	0.000000	0.000000	3.705.000.000	401.846.502	1.794.000.000.000	1.794.000.000.000	0.000000
PACKING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	1.215.879	3.588.001.000.000	1.794.000.000.000	0.016667
PACKAGE BAGS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.794.001.000.000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	1.000.000	0.000000	11.000.000	2.538.132	1.973.401.000.000	179.400.000.000	0.424833
BOXES	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	179.401.000.000	0.044588
PALLETS	Source	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.492.000.000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	1.000.000	0.000000	2.000.000	1.000.000	181.892.000.000	181.891.000.000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000950	2.491.000.000	2.491.000.000	0.098460
LIFT TRUCK	Transporter	0.000000	0.000000	1.000.000	0.001158	2.491.000.000	2.491.000.000	0.114141
RACK 1	Rack	1.246.000.000	0.000000	1.246.000.000	623.668.616	1.246.000.000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	1.245.000.000	0.000000	1.245.000.000	623.168.092	1.245.000.000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.000000	0.000000	1.000.000	0.023027	179.401.000.000	179.401.000.000	0.055263



Continuación del Anexo 16. Reporte de Análisis Estadístico de la Simulación del Modelo Diseñado en Función al Balanceamiento de la Línea en FlexSim para un Periodo de Validación de 430.560 Minutos

Object	Class	stats_staytimemax	stats_staytimeavg	state_current	processing	empty	releasing
MILK GENERATOR	FluidGenerator	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	385.559.000.000	0.000000
FluidPipe1	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	385.260.000.000	0.000000
RAW MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	342.060.000.000	0.000000
FluidPipe2	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	386.760.000.000	0.000000
PASTEURIZER	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	43.500.000.000	387.060.000.000	0.000000
FluidPipe3	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	386.760.000.000	0.000000
PASTEURIZED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	342.360.000.000	0.000000
FluidPipe4	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	385.560.000.000	0.000000
EVAPORATOR	FluidProcessor	0.000000	0.000000	6.000.000	44.700.000.000	385.860.000.000	0.000000
FluidPipe5	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	385.560.000.000	0.000000
CONCENTRATED MILK SILO	FluidTank	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	349.860.000.000	0.000000
FluidPipe6	FluidPipe	0.000000	0.000000	6.000.000	0.000000	394.260.000.000	0.000000
SPRAY DRYER	FluidTottem	0.000000	0.000000	7.000.000	0.000000	458.000.000	0.000000
VIBRATING FLUID BED	Processor	161.520.000	161.520.000	2.000.000	48.014.480.000	0.000000	0.000000
MILK POWDER SILO	Queue	194.207.158	96.443.160	6.000.000	0.000000	336.915.064.105	93.644.935.895
PACKING MACHINE	Combiner	1.123.562.665	0.239087	7.000.000	29.899.999.995	0.000000	0.000000
PACKAGE BAGS	Source	1.123.547.352	0.222719	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PACKED BOX	Combiner	1.123.618.644	2.294.015	7.000.000	59.799.999.999	0.000000	0.000000
BOXES	Source	1.123.703.074	2.377.188	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETS	Source	1.160.955.972	172.309.360	4.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
PALLETIZING MACHINE	Combiner	1.160.971.221	2.360.955	7.000.000	5.124.342.857	0.000000	0.000000
AREA OF GATHERING	Queue	0.227052	0.164187	6.000.000	0.000000	430.151.009.686	0.000000
LIFT TRUCK	Transporter	0.301085	0.200070	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 1	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
RACK 2	Rack	0.000000	0.000000	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000
SUSAN	Operator	0.055263	0.055263	1.000.000	0.000000	0.000000	0.000000



Anexo 17. Enlaces de Previsualización de la Planimetría en Autodesk AutoCAD

PERSPECTIVA ANALIZADA	ENLACE DE PRE VISUALIZACIÓN
Vista Superior General de la Planta	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\VISTA SUPERIOR DE LA PLANTA.pdf
Emplazamiento General de la Planta	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\EMPLAZAMIENTO GENERAL DE LA PLANTA.pdf
Fachada Principal de la Industria	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\FACHADA PRINCIPAL.pdf
Corte Longitudinal del Exterior de la Planta	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\CORTE LONGITUDINAL.pdf
Corte Transversal de la Planta	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\CORTE TRANSVERSAL.pdf

Anexo 18. Enlaces de Previsualización de los Renders de la Planta

PERSPECTIVA ANALIZADA	ENLACE DE PRE VISUALIZACIÓN
Fachada de la Industria	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\FACHADA DE LA INDUSTRIA.jpg
Vista Lateral Derecha de la Fachada	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\VISTA LATERAL N.1.jpg
Vista lateral Izquierda de la Fachada	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\VISTA LATERAL N.2.jpg
Perspectiva Superior de la Planta	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\VISTA SUPERIOR DE LA PLANTA.jpg
Vista Aérea de la Localización de la Planta	..\INFORME FINAL DE GRADO\PLANIMETRÍA Y RENDERS\LOCALIZACION.jpg