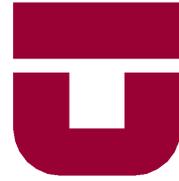


INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

PROYECTO DE MEJORAMIENTO

**ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA EFICIENCIA
DEL PROCESO DE PACKING DE MANZANAS UTILIZANDO
SIMULACIÓN PARA LA EMPRESA FRUTASOL**

AUTOR:
Cristian Lizana González

PROFESOR TUTOR:
Sergio González Reyes

CURICÓ-CHILE

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Curicó, 2019

AGRADECIMIENTOS

Gracias a cada uno de los profesores de la universidad que me formaron como profesional y que tuve el privilegio de conocer y compartir. Gracias a mi profesor tutor Sergio González por guiarme en este trabajo, aclarar mis dudas y estar siempre presente, también al profesor Jonathan Moya por ser un guía en el proyecto.

Además agradecer a CETLOG, por confiar en mí y asignarme este proyecto, a la profesora Miryam Gaete por estar presente en todo el proceso.

A la empresa FRUTASOL por recibirme, al Jefe de Packing Don Carlos Rojas por facilitarme la información necesaria para la realización de este proyecto y también a Macarena Rozas del departamento de control de gestión.

A cada uno de mis compañeros que conocí en la universidad y que hicieron de esta etapa de mi vida una de las mejores.

Finalmente gracias a mi familia por el apoyo incondicional, por estar presente en los buenos y malos momentos, y por confiar en mí.

RESUMEN EJECUTIVO

La empresa FRUTASOL es una agroindustria dedicada a la producción, comercialización y exportación de sus propias frutas, principalmente manzanas a un amplio mercado en todo el mundo, desde países americanos, hasta europeos y asiáticos. Cuenta con tres unidades de negocio, una es la empresa agrícola que se encarga de producir la fruta en los huertos, la segunda corresponde a la agroindustria que se encarga del procesamiento de la fruta (embalaje) y finalmente se encuentra la exportadora, que se encarga, como lo dice su nombre, de exportar la fruta embalada a los diferentes mercados.

El proyecto se realiza en el packing de la empresa (agroindustria), el cual tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la línea uno, para el proceso de las manzanas detectando cuellos de botellas y elementos ineficientes, para de esta forma dar propuestas de cómo mejorar el proceso.

El proyecto se divide en diferentes etapas, la primera es conocer la empresa, y conocer en detalle el lugar donde se lleva a cabo el proyecto, cómo funciona el proceso de embalaje, definir la problemática, los objetivos y el alcance del trabajo.

Además se presenta un amplio marco teórico que contiene la información necesaria para llevar a cabo el proyecto de mejoramiento, como análisis de datos, muestreo, muestreo estratificado, metodología de simulación entre otros conceptos relevantes.

También se lleva a cabo una recopilación de datos necesaria para desarrollar el modelo de simulación, como medición de tiempos de trabajo en los distintos procesos llevados a cabo por las personas de la línea y además información de los equipos, como capacidades, dimensiones, velocidad de la línea, entre otras.

Para el desarrollo de este modelo se utilizará el software Arena por el conocimiento que ya se posee sobre este programa y para verificar su cercanía con la realidad se utilizarán métodos de validación, que para este caso corresponde a test de hipótesis.

Finalmente se analizarán los resultados para ver la situación actual de la empresa y se propondrán una serie de alternativas para mejorar la eficiencia de la línea en cuanto a la producción.

Autor:

**Cristian Rodrigo Lizana González (clizana13@alumnos.otalca.cl)
Estudiante de Ingeniería Civil Industrial- Universidad de Talca
Curicó-Agosto 2018**

ABSTRACT

The company FRUTASOL is an agroindustry dedicated to the production, commercialization and export of its own fruits, mainly apples to a wide market all over the world, as American countries, to European and Asian. It has three business units, one is the agricultural company that is responsible for producing the fruit in the field, the second corresponds to agro-industry that is responsible to processing fruit (packaging) and finally is exporter, who is responsible, as its name says, of the export of the packaged fruit to the different markets.

The project is carried out in the packing of the company (agroindustry), which aims to improve the efficiency of line one, for the process of apples by detecting bottle necks and inefficient elements, in order to give proposals on how to improve the process.

The project is divided into different stages, the first is to know the company, and know in detail the place where the project is carried out, how the packaging process works, define the problem, the objectives and the scope of the work.

In addition, a broad theoretical framework is presented that contains the information necessary to carry out the project, such as data analysis, sampling, stratified sampling, and simulation methodology among other relevant concepts.

It is also carries out a data collection necessary to develop the simulation model, as a measurement of work times in the different processes carried out by line people and also information of the equipment's, such as capacities, dimensions, speed of the line, among others.

For the development of this model, will be used the Arena software for the knowledge already possessed about this program and to verify its proximity to reality, validation methods will be used, which for this case corresponds to hypothesis testing's.

Finally, the results will be analyzed to see the current situation of the company and a series of alternatives will be proposed to improve the efficiency of the line in terms of production.

Key words: Packing, Simulation, Work Sampling, Data analysis, stratified sampling

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1 Introducción	3
1.1 Descripción de la organización	3
1.2 Estructura organizacional	4
1.3 Lugar de aplicación.....	5
1.4 Descripción de los procesos.....	5
1.4.1 Transporte.....	5
1.4.2 Vaciado.....	8
1.4.3 Pre-calibre.....	8
1.4.4 Lavado y secado	8
1.4.5 Encerado y aplicación.....	8
1.4.6 Secado en horno	9
1.4.7 Selección.....	9
1.4.8 Calibraje fruta comercial	9
1.4.9 Calibraje y pesaje.....	9
1.4.10 Selección y embalaje	9
1.5 Planteamiento del problema.....	10
1.6 Objetivo general.....	12
1.7 Objetivos específicos	12
1.8 Resultados esperados	12
1.9 Alcance del proyecto	13
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA	14
2 Marco teórico	15
2.1 Diagrama de flujo	15
2.2 Distribución de planta (<i>Layout</i>)	16
2.3 Diagrama de Pareto.....	17
2.4 Análisis de datos	17
2.4.1 Variabilidad en el proceso productivo.....	17
2.4.2 Test de bondad.....	18
2.5 Medición del trabajo	20
2.5.1 Muestreo de trabajo	22

2.5.2	Estimación estructurada.....	25
2.5.3	Estudio de tiempos	25
2.5.4	Normas de tiempo predeterminadas	28
2.6	Muestreo estratificado.....	31
2.7	Rediseño de procesos.....	32
2.8	Qué es la simulación	33
2.8.1	¿Por qué simular?	33
2.8.2	Cuando simular.....	33
2.8.3	Problemas de la simulación	34
2.8.4	Áreas de aplicación de la simulación	34
2.8.5	Primeras simulaciones	35
2.8.6	Terminología de la simulación	35
2.8.7	Etapas de una simulación	38
2.9	Validación del modelo de simulación.....	41
2.9.1	Métodos de validación.....	41
2.10	Metodología.....	46
2.11	Carta Gantt.....	47
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA		49
3	Problemas detectados en packing.....	50
3.1	Tiempos muertos.....	50
3.1.1	Tiempos muertos de operación y proceso	52
3.1.2	Tiempos muertos por fallas mecánicas.....	53
3.1.3	Tiempos muertos asociados al personal	54
3.2	Ausentismo del personal	55
CAPÍTULO 4: RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN		59
4	Recolección y procesamiento de los datos.....	60
4.1	Datos de entrada del modelo.....	60
4.2	Ingreso de bins por variedad	60
4.3	Ingreso de bins por productor	61
4.4	Distribución de probabilidad por ingreso de bins al sistema	63
4.5	Cantidad de trabajadoras en la línea	64
4.6	Minutos de pérdida	65

CAPITULO 5: ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES	66
5 Estudio de tiempos de los procesos.....	67
5.1 Tiempos de operación en el proceso de selección	67
5.1.1 Cálculo del tiempo operacional del proceso de selección	69
5.2 Tiempo de operación en el proceso de embalaje	70
5.2.1 Tiempos de operación en el proceso de embalaje tray pack.....	71
5.3 Tiempos muertos en el proceso	92
CAPITULO 6: PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS PARA EL MODELO	94
6 Parámetros complementarios para el modelo de simulación	95
6.1 Velocidad de la línea.....	95
6.2 Capacidad de los equipos.....	96
6.3 Cantidad de trabajadores en la línea por estación	97
6.4 Dimensiones de la línea	97
6.5 Calidad de la manzana	98
6.6 Clasificación de las manzanas	99
6.6.1 Pre-calibre.....	99
6.6.2 Desecho	99
6.6.3 Comercial	99
6.7 Características de no conformidad.....	101
CAPÍTULO 7: CONFECCIÓN DEL MODELO MEDIANTE SIMULACIÓN.....	103
7 Traducción del modelo mediante simulación.....	104
7.1 Software ARENA	104
7.1.1 Conceptos generales	104
7.2 Descripción del modelo	106
7.2.1 Vaciado.....	106
7.2.2 Pre-selección.....	108
7.2.3 Selección.....	109
7.2.4 Calibraje	110
7.2.5 Embalaje.....	110
7.3 Entidades del modelo.....	112
7.3.1 Manzanas de ingreso al sistema.....	112
7.3.2 Fruta calidad pre-calibre.....	113

7.3.3	Fruta calidad desecho	113
7.3.4	Fruta calidad comercial	114
7.3.5	Fruta calidad exportación	115
7.3.6	Bandeja de manzanas.....	115
7.3.7	Cajas embaladas	116
CAPÍTULO 8: VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN		117
8	Validación	118
8.1	Problemas de la validación	118
8.1.1	Cantidad de entidades	118
8.1.2	Capacidad computacional del equipo	118
8.1.3	Proceso estándar	119
8.1.4	Datos de entrada para el modelo.....	119
8.2	Número de réplicas	120
8.3	Validación del modelo variedad Gala.....	122
8.4	Validación del modelo variedad Fuji.....	124
8.5	Validación del modelo variedad Granny Smith.....	125
8.6	Validación del modelo variedad Cripps Pink	127
8.7	Validación del modelo variedad Rojas	128
8.8	Validación del modelo variedad Braeburn	130
CAPÍTULO 9: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS		133
9	Análisis de los resultados y realización de experimentos	134
9.1	Análisis de resultados	134
9.2	Realización de experimentos	136
9.2.1	Eliminar los cambios de variedades y de productor a través de un plan de producción y eliminación de las fallas del calibrador	136
9.2.2	Trabajar a la capacidad instalada en embalaje tray pack.....	138
9.2.3	Aumentar en cinco la cantidad de tray packs y trabajar a la capacidad de embalaje 141	
CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES DE LAS PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES		145
10	Análisis de las propuestas y recomendaciones	146
10.1	Análisis de las propuestas	146
10.2	Recomendaciones	146

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Periodo de cosecha variedad de manzanas.....	4
Ilustración 2: Organigrama FRUTASOL	6
Ilustración 3: Organigrama área de operaciones FRUTASOL.....	7
Ilustración 4: Diagrama proceso de packing de manzanas.....	11
Ilustración 5: Simbología diagrama de flujo	15
Ilustración 6: Variabilidad.....	18
Ilustración 7: Micromovimientos comunes en tablas MTM	29
Ilustración 8: Diagrama metodología de simulación.....	42
Ilustración 9: Carta Gantt parte I.....	47
Ilustración 10: Carta Gantt parte II.....	48
Ilustración 11: Carta Gantt parte III	48
Ilustración 12: Carta Gantt parte IV	48
Ilustración 13: Layout línea de producción área de packing.....	107
Ilustración 14: Inicio del proceso	108
Ilustración 15: Proceso de vaciado	108
Ilustración 16: Eliminación fruta pre-calibre.....	109
Ilustración 17: Eliminación fruta desecho y comercial	110
Ilustración 18: Proceso de calibrage.....	110
Ilustración 19: Embalaje tray pack	111
Ilustración 20: Embalaje tómbolas	111
Ilustración 21: Bin de ingreso al sistema.....	112
Ilustración 22: Bin vacío	112
Ilustración 23: Representación manzanas pre-calibre	113
Ilustración 24: Representación bins manzana pre-calibre	113
Ilustración 25: Representación manzanas de desecho	114
Ilustración 26: Representación bins manzana desecho.....	114
Ilustración 27: Representación manzana comercial	114
Ilustración 28: Representación bins manzana comercial.....	115
Ilustración 29: Representación manzana de exportación	115
Ilustración 30: Bandeja de manzanas	116

Ilustración 31: Caja de manzanas	116
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Movimientos predeterminados	30
Tabla 2: Registro según variedad	61
Tabla 3: Registro según productor	62
Tabla 4: Datos para el cálculo del TMU para el proceso de selección.....	69
Tabla 5: Resumen resultados tiempos de operación proceso de selección.....	70
Tabla 6: Movimientos característicos de las tapadoras con sus respectivos tiempos en TMU	82
Tabla 7: Velocidades de la línea.....	96
Tabla 8: Capacidad de los equipos	96
Tabla 9: Número de trabajadores por proceso.....	97
Tabla 10: Dimensiones de la línea.....	98
Tabla 11: Kilogramos de la simulación.....	120
Tabla 12: Parámetros necesarios para el cálculo del número de réplicas.....	120
Tabla 13: Kilogramos simulados para las diferentes variedades.....	121
Tabla 14: Resumen de parámetros y número mínimo de réplicas para las variedades de manzanas	122
Tabla 15: Producción real aproximada v/s producción simulada por variedad.....	135
Tabla 16: Variación de la producción eliminando los tiempos de desperdicio de cambio variedad y fallas del calibrador.....	137
Tabla 18: Comparación kilos diarios de producción	140
Tabla 19: Comparación aumento de producción escenario real.....	140
Tabla 20: Producción inicial v/s producción propuesta de mejora.....	142

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Fuentes de pérdida de tiempo temporada 2017	51
Gráfico 2: Fuentes de pérdida de tiempo temporada actual	52
Gráfico 3: Pérdida de tiempo de operación y procesos	53
Gráfico 4: Pérdida de tiempo por fallas mecánicas	54
Gráfico 5: Pérdida de tiempo asociados al personal.....	55
Gráfico 6: Diagrama de Pareto tiempos muertos.....	56
Gráfico 7: Asistencia personal área selección	57
Gráfico 8: Asistencia personal área de embalaje.....	57
Gráfico 9: Porcentaje de procesamiento por variedad.....	61
Gráfico 10: Porcentaje de procesamiento por productor	62
Gráfico 11: Distribución ingreso de bins a producción	64
Gráfico 12: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Gala	73
Gráfico 13: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Fuji	74
Gráfico 14: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Granny Smith	76
Gráfico 15: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Cripps Pink.....	77
Gráfico 16: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Roja	78
Gráfico 17: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Braeburn.....	80
Gráfico 18: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Gala.....	85
Gráfico 19: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Fuji.....	86
Gráfico 20: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Granny Smith.....	87
Gráfico 21: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Cripps Pink	89
Gráfico 22: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Roja.....	90
Gráfico 23: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Braeburn ..	91
Gráfico 24: Distribución tiempos muertos inicio del proceso	92
Gráfico 25: Distribución tiempos muertos falla del calibrador	93
Gráfico 26: Distribución tiempos muertos personal de embalaje.....	93
Gráfico 27: Porcentaje efectivo de trabajo	134

Gráfico 28: Utilización de los principales recursos de la línea con propuesta de eliminación tiempos muertos de cambio de productor y fallas del calibrador	138
Gráfico 29: Porcentaje de la producción máxima que se puede alcanzar idealmente	139
Gráfico 30: Utilización de los principales recursos de la línea con propuesta de trabajar a la capacidad instalada de los tray pack.....	141
Gráfico 31: Ahorro mensual con la propuesta.....	143
Gráfico 32: Comparación del ahorro con la inversión	143
Gráfico 33: Utilización de los principales recursos de la línea con la propuesta de aumentar cinco tray packs	144

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula Chi-cuadrado	20
Ecuación 2: Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento.....	22
Ecuación 3: Cálculo del número de observaciones	23
Ecuación 4: Fórmula para estimar tamaño de la muestra.....	23
Ecuación 5: Fórmula para calcular el tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población	24
Ecuación 6: Fórmula para calcular el tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población utilizando la desviación estándar	24
Ecuación 7: Cálculo del tamaño de la muestra.....	27
Ecuación 8: Cálculo del rango.....	28
Ecuación 9: Media aritmética.....	28
Ecuación 10: Cociente rango/media	28
Ecuación 11: Cálculo de los elementos del estrato.....	31
Ecuación 12: Calculo de los elementos del estrato con variabilidad.....	32
Ecuación 13: Fórmula combinada	43
Ecuación 14: Calculo t-student.....	44
Ecuación 15: Condición de rechazo	44
Ecuación 16: Estadístico de prueba para varianzas diferentes	44
Ecuación 17: Grados de libertad.....	44

Ecuación 18: Tamaño de la muestra.....	45
Ecuación 19: Número de simulaciones	45
Ecuación 20: Tiempo de operación para fruta comercial	70
Ecuación 21: Tiempo de operación para fruta de desecho	70
Ecuación 22: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	72
Ecuación 23: Cálculo de la desviación estándar.....	72
Ecuación 24: Cálculo del tamaño de la muestra.....	72
Ecuación 25: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	73
Ecuación 26: Cálculo de la desviación estándar.....	73
Ecuación 27: Cálculo del tamaño de la muestra.....	74
Ecuación 28: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	75
Ecuación 29: Cálculo de la desviación estándar.....	75
Ecuación 30: Cálculo del tamaño de la muestra.....	75
Ecuación 31: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	76
Ecuación 32: Cálculo de la desviación estándar.....	76
Ecuación 33: Cálculo del tamaño de la muestra.....	77
Ecuación 34: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	77
Ecuación 35: Cálculo de la desviación estándar.....	78
Ecuación 36: Cálculo del tamaño de la muestra.....	78
Ecuación 37: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	79
Ecuación 38: Cálculo de la desviación estándar.....	79
Ecuación 39: Cálculo del tamaño de la muestra.....	79
Ecuación 40: Tiempo de operación para fruta comercial	81
Ecuación 41: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	81
Ecuación 42: Cálculo de la desviación estándar.....	81
Ecuación 43: Cálculo del tamaño de la muestra.....	83
Ecuación 44: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	84
Ecuación 45: Cálculo de la desviación estándar.....	84
Ecuación 46: Cálculo del tamaño de la muestra.....	84
Ecuación 47: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	85
Ecuación 48: Cálculo de la desviación estándar.....	85

Ecuación 49: Cálculo del tamaño de la muestra.....	86
Ecuación 50: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	86
Ecuación 51: Cálculo de la desviación estándar.....	87
Ecuación 52: Cálculo del tamaño de la muestra.....	87
Ecuación 53: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	88
Ecuación 54: Cálculo de la desviación estándar.....	88
Ecuación 55: Cálculo del tamaño de la muestra.....	88
Ecuación 56: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	89
Ecuación 57: Cálculo de la desviación estándar.....	89
Ecuación 58: Cálculo del tamaño de la muestra.....	90
Ecuación 59: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar	90
Ecuación 60: Cálculo de la desviación estándar.....	91
Ecuación 61: Cálculo del tamaño de la muestra.....	91
Ecuación 62: Fórmula para el cálculo de la muestra	100
Ecuación 63: Cantidad de minutos a medir para el cálculo de manzanas	100
Ecuación 64: Cantidad de manzanas diarias de embalaje a comercial.....	101
Ecuación 65: Porcentaje de fruta que se elimina de la línea en el proceso de embalaje	101
Ecuación 66: Porcentaje de fruta que se elimina de la línea en el proceso de selección....	101
Ecuación 67: Número de réplicas.....	121
Ecuación 68: Cálculo de grados de libertad	122
Ecuación 69: Cálculo del t de comparación	123
Ecuación 70: Cálculo de grados de libertad	124
Ecuación 71: Cálculo del t de comparación	125
Ecuación 72: Cálculo de grados de libertad	126
Ecuación 73: Cálculo del t de comparación	126
Ecuación 74: Cálculo de grados de libertad	127
Ecuación 75: Cálculo del t de comparación	128
Ecuación 76: Cálculo de grados de libertad	129
Ecuación 77: Cálculo del t de comparación	130
Ecuación 78: Cálculo de grados de libertad	131
Ecuación 79: Cálculo del t de comparación	131

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla para el cálculo del número de observaciones.....	151
Anexo 2: Tabla micromovimiento alcanzar.....	152
Anexo 3: Tabla micromovimiento coger.....	152
Anexo 4: Tabla micromovimiento mover	153
Anexo 5: Tabla micromovimiento soltar.....	153
Anexo 6: Tabla micromovimiento movimientos oculares	154
Anexo 7: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Gala	154
Anexo 8: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Fuji	154
Anexo 9: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Granny Smith.....	155
Anexo 10: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Cripps Pink.....	155
Anexo 11: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Rojas	155
Anexo 12: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Braeburn	155
Anexo 13: Muestreo preliminar llenado de cajas con bandejas y tapado de cajas	156
Anexo 14: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Gala	156
Anexo 15: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Fuji.....	156
Anexo 16: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Granny Smith	156
Anexo 17: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Cripps Pink.....	157
Anexo 18: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Roja	157
Anexo 19: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Braeburn	157
Anexo 20: Manzanas por minuto para determinar la cantidad de fruta comercial del proceso de embalaje.....	157
Anexo 21: Distribución de entrada de bins temporada 2017.....	158
Anexo 22: Distribución de entrada de bins temporada 2018 (parte de la temporada)	158
Anexo 23: Tabla t-student parte I.....	159
Anexo 24: Tabla t-student parte II	160
Anexo 25: Identificador del gasto para determinar la conveniencia de la propuesta	161
Anexo 26: Tabla indicadora del ahorro para el cálculo del retorno de la inversión	162

GLOSARIO

Packing: Corresponde al proceso de empaque, embalaje y envase, los cuales se originan desde el momento en que el producto posee propiedades físicas, comportamientos químicos y biológicos que deben considerarse para la decisión de presentación frente al consumidor y consecuentemente en su introducción en cadenas de abastecimiento logísticas y de distribución.

Pallet: es una estructura horizontal rígida, confeccionada principalmente de madera, utilizados para apilar objetos, lo cual permite el fácil transporte de la carga a través de grúas hidráulicas.

Paletizaje: es la acción de disponer mercancía sobre un *pallet* para su almacenaje o distribución.

Software: conjunto de programas o rutina que permiten a la computadora realizar determinadas actividades.

Tómbola: corresponde a una estructura metálica circular que se ubica al final de una cinta transportadora en el proceso de embalaje, en la cual cae la manzana para que posteriormente sea tomada y embalada por el personal.

Tray pack: se le denomina tray pack a un tipo de bandeja, pero en procesos de embalaje de fruta corresponde al proceso de llenado de bandejas con frutas, para que posteriormente al final de la línea dichas bandejas sean depositadas en cajas.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrolla una descripción detallada de la empresa FRUTASOL, el lugar donde se enmarca el trabajo de mejoramiento, su estructura organizacional, los procesos que son parte del estudio, la problemática que se pretende solucionar, los objetivos del proyecto y el alcance de este

1 Introducción

Es de suma importancia definir claramente el lugar donde se lleva a cabo el proyecto de mejoramiento, la problemática que se pretende abordar, los objetivos, el alcance del proyecto y los resultados que se obtendrán una vez desarrollado el trabajo.

1.1 Descripción de la organización

CETLOG (Centro De Extensionismo Tecnológico En Logística), ubicado en Camino los Niches, km 1, Curicó, corresponde a una organización sin fines de lucro y financiada por CORFO que se encarga de apoyar a pequeñas y medianas empresas de la zona centro-sur del país a través de asesorías profesionales. En otras palabras corresponde a una consultora la cual ofrece sus servicios a empresas que presenten problemas de diferentes ámbitos y que deseen mejorar para estar vigentes en el mercado nacional actual, cada vez más competitivo.

Como se mencionó anteriormente, CETLOG se encarga de contactarse con empresas que requieran de mejoras en sus procesos o departamentos. Es en este ámbito donde nace la realización del proyecto de mejoramiento, ya que este organismo es quien ofrece la oportunidad de trabajar a los alumnos.

El proyecto de mejoramiento se realiza en FRUTASOL, ubicada en la comuna de Curicó, Km 11 sector los Niches, una de sus características es que posee tres empresas que pertenecen al grupo FRUTASOL: Agrícola Frutasol Chile S.A, que se encarga de velar por la producción en los huertos, cuyo objetivo principal es producir una fruta de calidad que posea los estándares para que pueda ser exportada. Cabe destacar que la Agrícola Frutasol posee la certificación Global GAP, lo que permite que sea reconocida internacionalmente por sus buenas prácticas agrícolas.

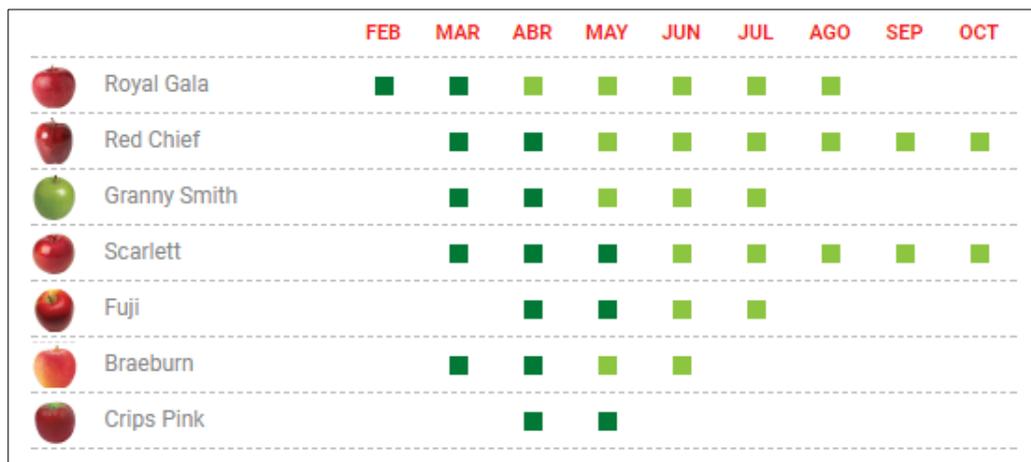
La segunda empresa corresponde a la Empresa Agroindustrial Frutasol S.A, la cual se encarga de procesar la fruta que proviene de los huertos, manteniendo los estándares de calidad, verificando que solo la fruta que cumpla con los requisitos sea exportada. Cabe mencionar que el *packing* posee la certificación BRC, que corresponde a una norma de sistema de gestión de seguridad alimentaria. Finalmente se encuentra la Exportadora Frutasol

Chile S.A. cuya misión es realizar las gestiones para la posterior exportación de la fruta hacia el extranjero.

La agrícola de FRUTASOL posee diferentes plantaciones en sus huertos, pero sus principales productos corresponden a manzanas, peras y kiwis, siendo el primer producto el más importante debido a la cantidad de hectáreas que se posee (corresponde aproximadamente a 60% del total de la superficie plantada) y a la gran variedad de tipos de manzana, como por ejemplo *Royal Gala*, *Granny Smith*, entre otras.

La producción de cada tipo de manzana se define en primer lugar por el tiempo de cosecha (ver Ilustración 1), donde se da prioridad al embalaje de fruta cuyo tiempo post cosecha sea mayor y en segundo lugar depende de los pedidos, ya que si se solicita un pedido en específico la empresa lo producirá al instante.

Ilustración 1: Periodo de cosecha variedad de manzanas



Fuente: (FRUTASOL, 2018)

La fruta es cotizada en mercados de muchos países del mundo, en los cuales podemos encontrar Rusia, Canadá, Estados Unidos, Ecuador, Arabia Saudita, Libia, Argentina, Alemania, entre otros. La cantidad de producto exportado alcanza una cifra promedio por temporada de 800.000 cajas con un peso promedio de 18kg.

1.2 Estructura organizacional

El grupo FRUTASOL posee una estructura organizacional del tipo piramidal en donde la persona con mayor poder dentro de la organización corresponde al Gerente General don

Marlon Jiménez quien tiene que cumplir diversas funciones al mismo tiempo, algunas de estas son: planificar, analizar, dirigir, etc. Él es quien da el visto bueno a todas las decisiones que se toman en la empresa. En el siguiente nivel se puede encontrar a los cabecillas de las tres empresas del grupo FRUTASOL, por una parte se tiene al Gerente Agrícola encargado de la agrícola propiamente tal. Por parte de la agroindustria está el Jefe de Operaciones y finalmente a la cabeza de la exportadora se encuentra el Gerente Comercial. (Ver Ilustración 2)

1.3 Lugar de aplicación

El proyecto se lleva a cabo en la agroindustria de la empresa FRUTASOL, en la línea uno del packing de manzanas. A pesar de que el packing posee dos líneas productivas, el proyecto se centra en la línea uno, principalmente por la mayor capacidad de producción. En la Ilustración 3 se puede observar el organigrama en detalle de la Agroindustria y el rectángulo rojo representa el área de packing, donde se trabaja con el jefe de dicha área Don Carlos Rojas, quien entrega la información necesaria para realizar un trabajo de calidad.

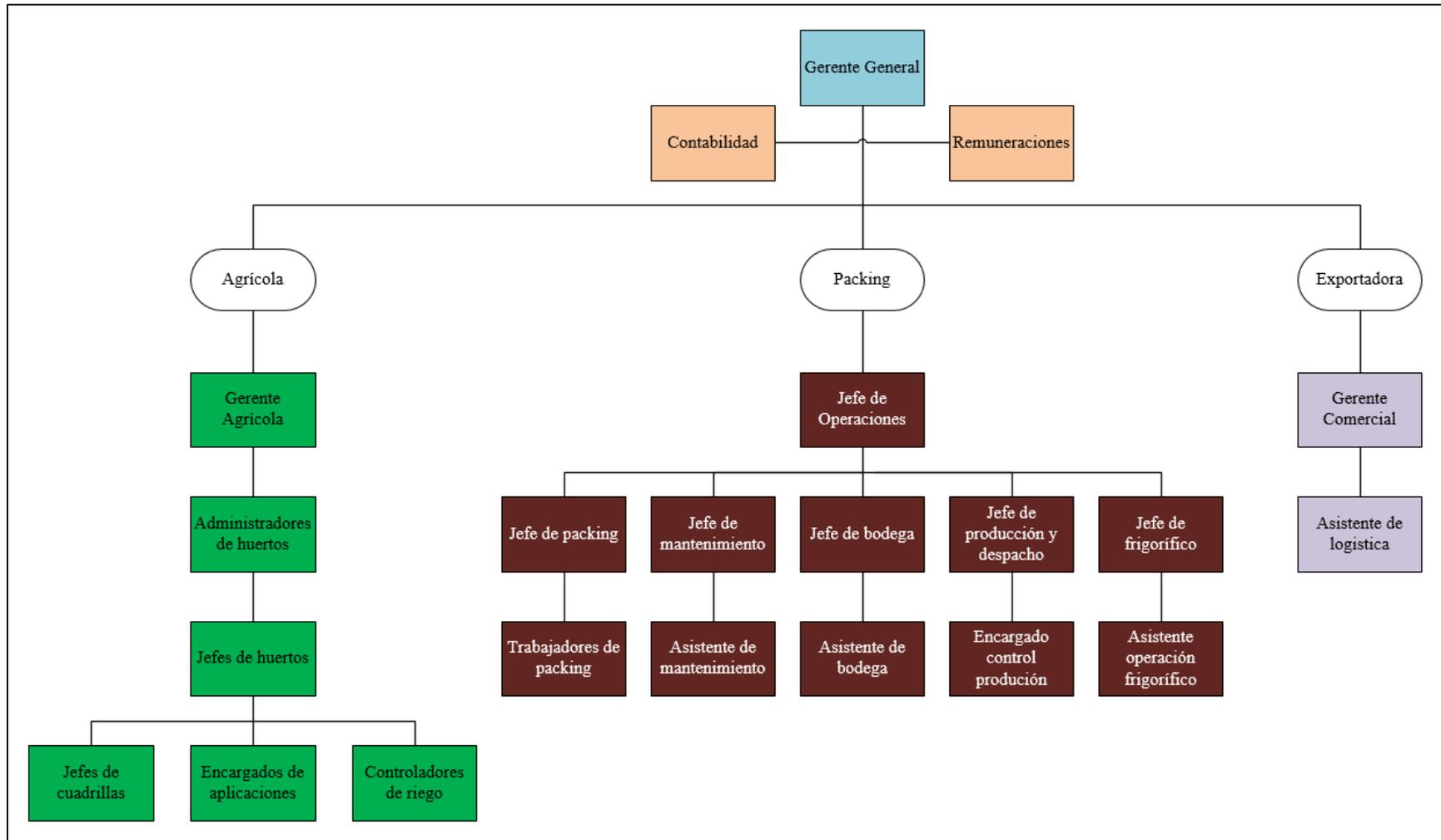
1.4 Descripción de los procesos

Describir de manera correcta los procesos permite conocer cómo funciona el sistema que se pretende estudiar, lo que dará las pautas para la base de la planeación y formulación del modelo. A continuación se describen los procesos presentes en el embalaje de manzanas, si bien el estudio se realiza a siete variedades de manzanas, los procesos son estándares, lo que quiere decir que todas las manzanas requieren los mismos procesos.

1.4.1 Transporte

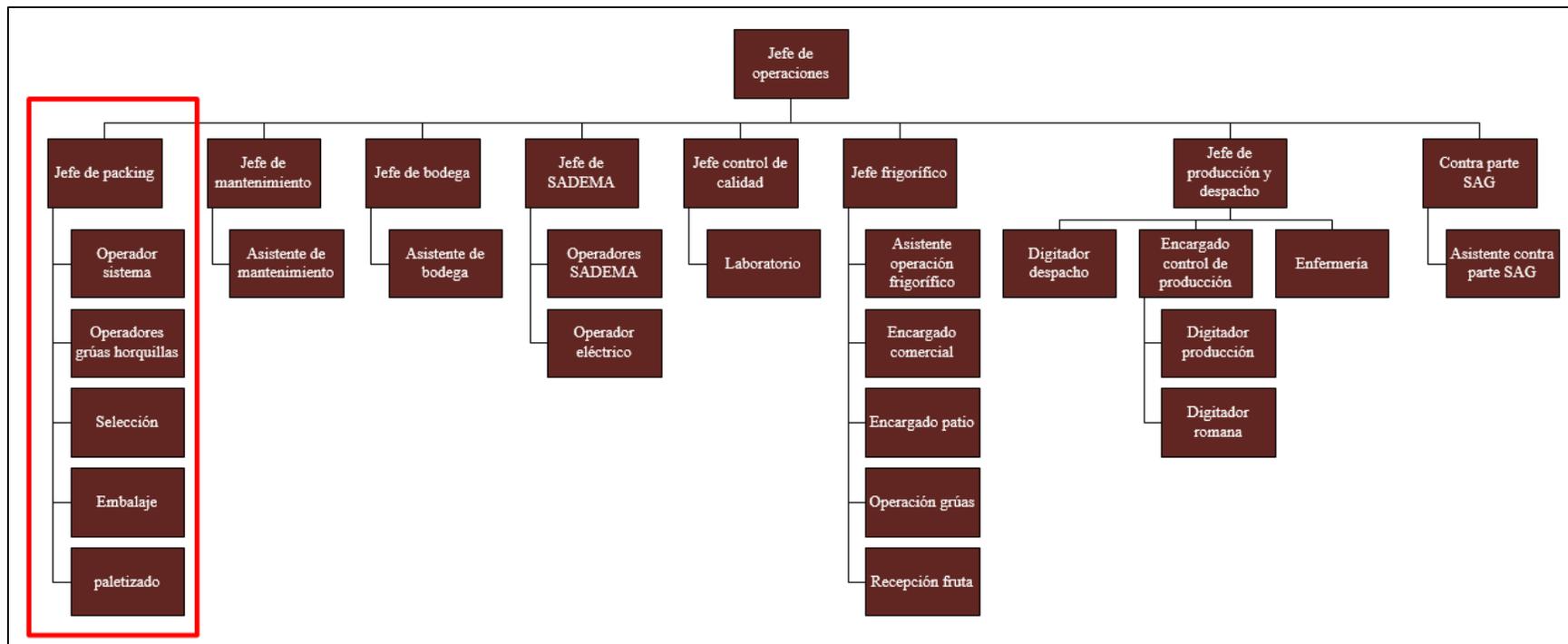
Los bins con fruta (380 kg promedio) que se encuentran apilados al inicio de la zona de vaciado son transportados por grúas horquillas hacia dicha zona.

Ilustración 2: Organigrama FRUTASOL



Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por FRUTASOL

Ilustración 3: Organigrama área de operaciones FRUTASOL



Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por FRUTASOL

1.4.2 Vaciado

Los bins con frutas son apilados de tres unidades y depositados en una línea de rodillos en donde automáticamente suben y son introducidos y sumergidos uno por uno en la piscina de flotación, en donde por efecto de la flotación la manzana sube y es extraída del bin, el cual permanece sumergido hasta que toda la fruta ascienda. Una vez que toda la fruta sale el bin emerge del agua y es sacado hacia el exterior a través de una línea de rodillos, para que una grúa horquilla lo desaloje del sector. La manzana por su parte avanza por flotación por canaletas, gracias a una turbina que hace circular el agua y genera la corriente.

Una característica del agua que se utiliza para transportar las manzanas es que esta se hace recircular por el sistema de las canaletas a través de bombas, y gracias a esta recirculación se puede generar la corriente para el transporte de las manzanas. Ya que el agua se reutiliza, es necesario que antes que ingrese a las bombas esta sea limpiada, para lo cual se utiliza una especie de malla que es sumergida y extrae principalmente las hojas que vengan en el agua.

1.4.3 Pre-calibre

Las manzanas pasan por un proceso de preselección, que consiste en una rejilla con agujeros que realiza una especie de tamizado por el cual cae toda la fruta pequeña que no cumple con los requisitos de mercado internacional.

1.4.4 Lavado y secado

En esta zona del proceso la fruta ya no se transporta por flotación, sino que por rodillos. Aquí la fruta pasa a la zona de lavado en donde a la fruta se le extrae toda la suciedad que pudiese traer, para posteriormente ser secadas por moto ventiladores. Posterior a estos procesos se pasa al proceso de encerado a través de una cinta de traspaso.

1.4.5 Encerado y aplicación

Una vez que la fruta es secada se le aplica cera para que tengan un mejor aspecto visual y fungicidas para que su duración sea mayor, este proceso depende del tipo de manzana, por lo cual es solo una opción

1.4.6 Secado en horno

Para que la fruta pueda pasar a la zona de preselección, la cera aplicada debe estar seca, por lo cual debe ser ingresada a un horno para que se cumpla dicho propósito, el cual trabaja a una temperatura rango de 35°C a 40°C.

1.4.7 Selección

En esta zona la fruta es seleccionada y se elimina del proceso toda la fruta que muestre daños por golpes, manchas de sol y pudrición. Dicho proceso se realiza de forma manual por personas.

1.4.8 Calibraje fruta comercial

La fruta que no cumple con los estándares de exportación pasa a un proceso de calibración comercial. A esta estación llega la fruta proveniente de selección y embalaje, y es aquí donde la fruta comercial se divide en tres categorías: comercial A, comercial B y comercial C que depende principalmente del tamaño de la fruta, donde la comercial A es la de menor calibre dentro de este grupo.

1.4.9 Calibraje y pesaje

Una vez que la fruta abandona el proceso de selección, pasa a una máquina que está posicionada sobre el singulador que se denomina calibrador, dicha máquina toma una secuencia de siete fotografías por segundo por manzana para seleccionarla por su color. Además existe un proceso en la misma estación que consiste en pesar la fruta con una especie de balanza ubicada bajo el singulador.

De acuerdo con estas características la fruta se deposita en una ranura del singulador para que sea depositada posteriormente en el lugar correspondiente, que lo define automáticamente un operario que controla en donde depositar la fruta.

1.4.10 Selección y embalaje

La fruta avanza por el singulador en donde automáticamente son depositadas en las zonas de embalaje, dependiendo del color de la fruta y tamaño (este proceso se realiza en la etapa

anterior, aquí solo la fruta es depositada). Una vez en las líneas de embalaje la fruta es puesta en bandejas, las cuales posteriormente son depositadas en cajas de cartón. En esta etapa también existe un procesos de selección, aquí las embaladoras revisan la fruta y las que no cumplen con las condiciones (manchas y daños principalmente) son puestas en líneas que transportan las manzanas hacia el proceso de calibrado de fruta comercial.

Una forma de entender y visualizar de mejor manera los procesos es a través de un diagrama de flujo, el cual se puede observar en la Ilustración 4.

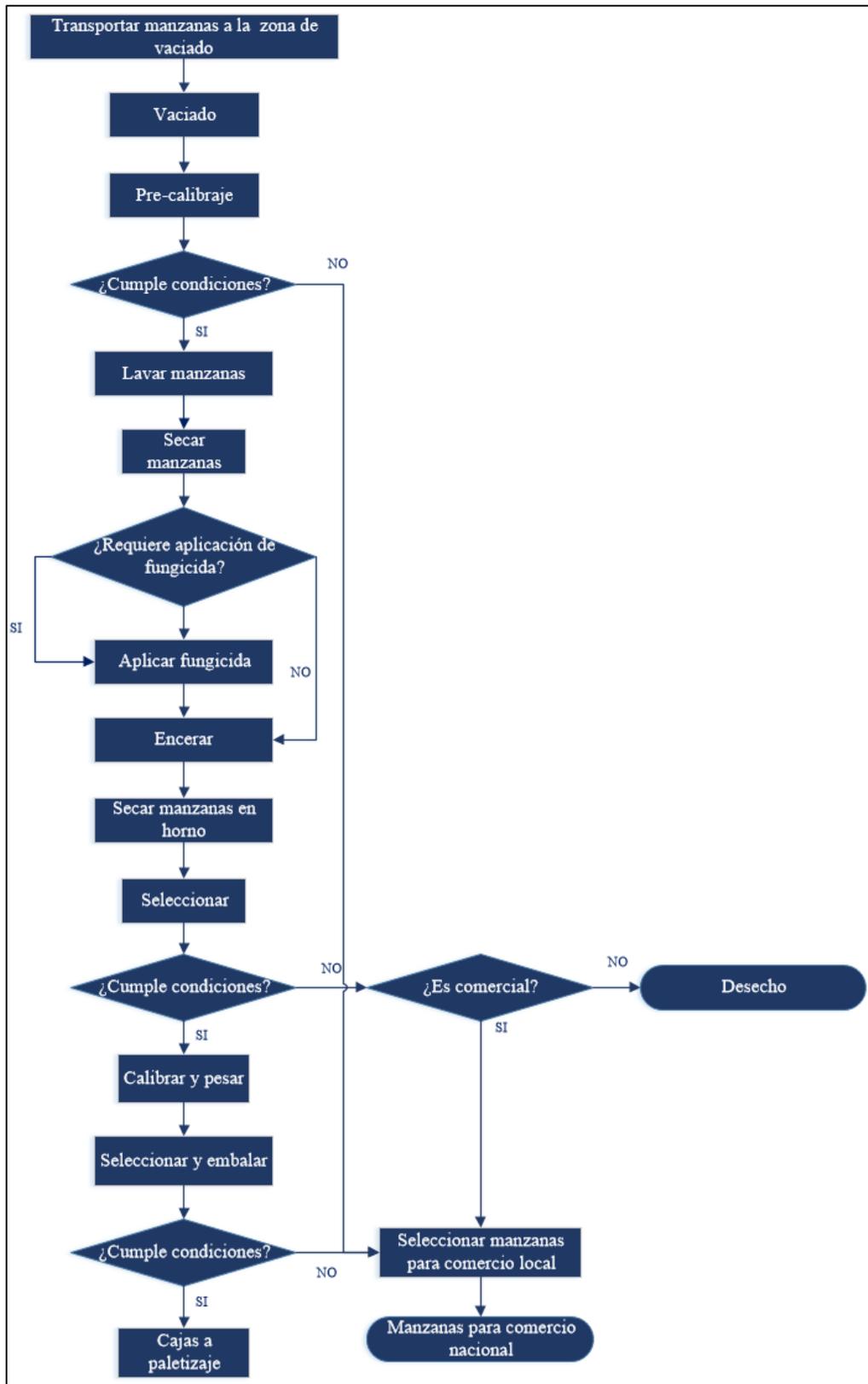
1.5 Planteamiento del problema

Hoy en día las empresas buscan mejorar sus procesos productivos aplicando la mejora continua, estos les permite estar vigente en el mercado debido a que cada vez es más competitivo. FRUTASOL no es la excepción, que busca cada vez mejores resultados para ser aún más reconocido y mantenerse a la par con empresas del mismo rubro.

Actualmente la empresa muestra preocupación por el área de *packing*, que corresponde a los procesos en donde la fruta (principalmente manzanas) es embalada para su posterior exportación a mercados internacionales, debido a que no se está utilizando eficientemente la línea, es decir, la producción puede ser mayor a lo que actualmente se procesa, por lo cual se desea determinar por qué se produce esta situación.

En este contexto de solución una herramienta muy utilizada es la simulación ya que permite detectar fallas en el sistema a estudiar y además entrega la posibilidad de mejorar el proceso en el corto plazo. Una ventaja es que permite evaluar diferentes escenarios sin la necesidad de modificar el proceso real. Como alternativa a dicha problemática se utiliza la simulación ya que permite, como se explicó anteriormente, dar respuesta y solución a las problemáticas que actualmente posee la organización.

Ilustración 4: Diagrama proceso de packing de manzanas



Fuente: Elaboración propia

1.6 Objetivo general

Identificar las limitantes del proceso y los elementos ineficientes, para de esta forma proponer posibles mejoras al sistema productivo de las distintas variedades de manzanas procesadas en la empresa FRUTASOL, utilizando para esto un modelo simulado del sistema.

1.7 Objetivos específicos

- Llevar a cabo un análisis de información para identificar posibles causas que generen la problemática.
- Desarrollar un modelo de simulación para llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual.
- Análizar los resultados para realizar propuestas de mejoras al sistema en estudio.
- Utilizar el modelo de simulación desarrollado para verificar las mejoras y analizar los resultados.
- Realizar una evaluación del impacto que traerán estas mejoras en la empresa para determinar la factibilidad de estas.

1.8 Resultados esperados

- Un informe que contenga los procesos analizados, mediciones realizadas en la empresa, causas de la problemática, propuestas de mejora y/o solución y un análisis del impacto que dichas mejoras traerán al sistema.
- Un modelo de simulación implementado en un software comercial que permita dar respuesta a la problemática, para posteriormente experimentar las propuestas de mejora.
- Un modelo de simulación mejorado del sistema productivo, con todas las modificaciones propuestas.

1.9 Alcance del proyecto

Definir el alcance del proyecto es muy importante ya que permite determinar claramente los elementos que forman parte del sistema para obtener toda la información necesaria para proceder con el proceso de simulación.

Para este proyecto no es la excepción, los límites del sistema corresponden a la línea uno del embalaje de manzana, que abarca desde el proceso de vaseado de bins con fruta en la zona que lleva el mismo nombre hasta el proceso de embalaje de las manzanas. Solo se considera la línea uno, ya que esta procesa una mayor cantidad de fruta en comparación con la línea dos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrolla un marco teórico con conceptos relevantes para poder llevar a cabo el proyecto de mejoramiento, como toma de muestras, análisis de datos, simulación, entre otros, además de proponer una metodología de trabajo para desarrollar dicho proyecto.

2 Marco teórico

Hacer un estudio previo de los conceptos a utilizar en un proyecto es muy importante, de esta forma será más fácil de entender todo lo que está detrás de este. A continuación se procede a explicar los conceptos más relevantes de este trabajo.

2.1 Diagrama de flujo

Esta herramienta se utiliza para representar gráficamente un proceso, que a través de diferentes símbolos explica cada una de las actividades que se desarrollan, ya sea de acciones, de daciones, entre otras, lo que facilita la comprensión del proceso que se desea estudiar.

Cando se desarrolla un diagrama de flujo es importante que se conozca la simbología utilizada para su confección, la cual se puede apreciar en la Ilustración 5.

Ilustración 5: Simbología diagrama de flujo

SÍMBOLO	REPRESENTA	SÍMBOLO	REPRESENTA
	Terminal: Indica el inicio o la terminación del flujo del proceso.		Actividad: Representa una actividad llevada a cabo en el proceso.
	Decisión: Indica un punto en el flujo en que se produce una bifurcación del tipo "SI" – "NO"		Documento: Se refiere a un documento utilizado en el proceso, se utilice, se genere o salga del proceso.
	Multidocumento: Refiere a un conjunto de documentos. Un ejemplo es un expediente, que agrupa a distintos documentos.		Inspección / Firma: Empleado para aquellas acciones que requieren una supervisión (como una firma o "visto bueno").
	Conector de proceso: Conexión o enlace con otro proceso diferente, en la que continúa el diagrama de flujo.		Archivo Manual: Se utiliza para reflejar la acción de archivo de un documento y/o expediente.
	Base de datos/aplicación: Empleado para representar la grabación de datos.		Línea de Flujo. Proporciona indicación sobre el sentido de flujo del proceso.

Fuente: (AITECO, 2018)

Además existe un procedimiento para la confección de los diagramas de flujo, el cual consiste en cinco pasos que se nombran a continuación:

1. Determinar el proceso a diagramar.
2. Definir el gardo de detalle del diagrama, el cual puede ser general o específico.
3. Identificar la secuencia de las actividades.
4. Desarrollar el diagrama utilizando la simbología definida y colocando cronológicamente los elementos de este.
5. Revisar y mejorar el diagrama.

2.2 Distribución de planta (*Layout*)

Existen varias definiciones de lo que es la distribución de planta: según James Laundy “*la distribución de planta implica idénticamente la asignación de espacio y disposición de equipos de tal forma que los costos totales se reduzcan al mínimo*”. Mallick y Gandreau la definen como “*la distribución de planta permite determinar y disponer la maquinaria y equipos diseñados de una planta en el mejor lugar, para permitir el flujo más rápido de material, al menor costo y con la mínima manipulación posible, desde la recepción de la materia prima hasta la entrega del producto terminado*”.

Este término abarca un segundo concepto llamado redistribución de planta, que consiste en las modificaciones reales de la planta. Dichas modificaciones o redistribuciones pueden surgir por diferentes motivos:

- Cuando hay cambio en el diseño del producto.
- Si se produce una expansión de la empresa.
- Si existe la posibilidad de modificar el tamaño de los departamentos.
- Si se añade un nuevo producto a la línea existente.
- Creación de una nueva planta.

2.3 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una técnica gráfica sencilla para clasificar aspectos en orden de mayor a menor frecuencia. También recibe el nombre de curva cerrada o distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de tal manera que estos queden en orden descendente de izquierda a derecha y separado por barras. Este diagrama permite:

- Asignar un orden de prioridades.
- Mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que existen muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes.
- Facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales psicosomáticos.

Este diagrama muestra de forma visual que la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal, sino que indica que el 20% de las causas totales generan el 80% de los problemas.

2.4 Análisis de datos

Es la ciencia que se encarga de examinar un conjunto de datos con el propósito de sacar conclusiones sobre la información para poder tomar decisiones o simplemente ampliar los conocimientos sobre diversos temas. (QuestionPro, 2018)

Contar con datos de calidad permite al investigador llevar a cabo un análisis confiable y real, lo que se traduce en conclusiones coherentes con el sistema que está siendo objeto de estudio. Además muestra la situación actual en que se encuentra la empresa o lo que pudiese llegar a ser.

Algunos parámetros presentes en el proceso de análisis de datos productivos son los que se presentan en los siguientes apartados.

2.4.1 Variabilidad en el proceso productivo

Este tipo de variabilidad hace referencia a que los volúmenes de producción pueden variar, ya que no siempre se poseen las mismas características de mano de obra, ya que algunos

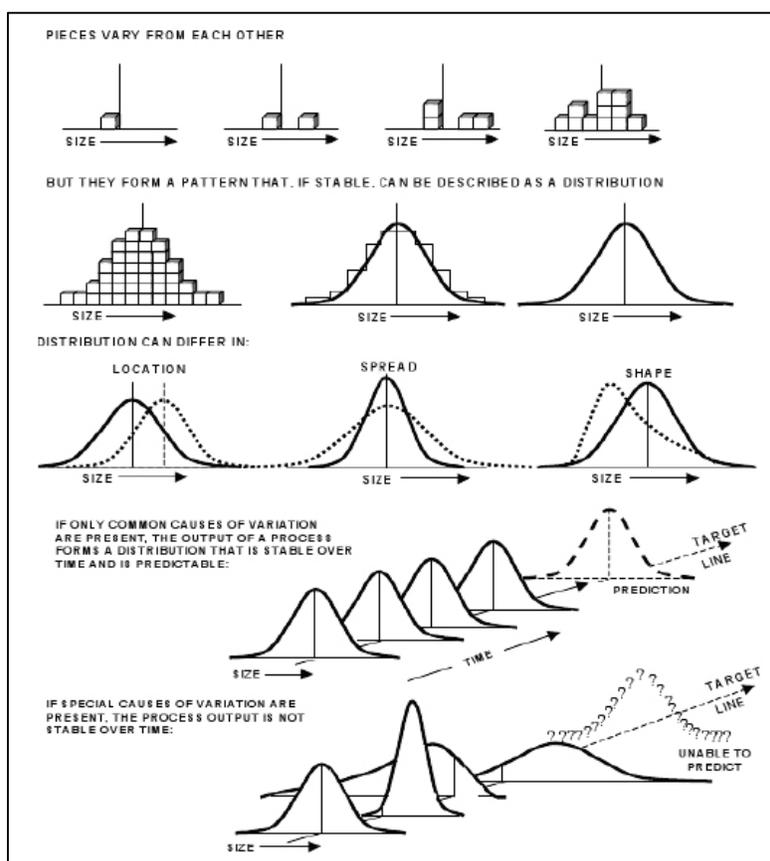
pueden ser más rápidos que otros, o también se puede presentar por el desgaste de las maquinas, entre otros.

Cuando se analiza el tipo de variación es más fácil verla a través de la forma que presenta su gráfica, que puede presentarse con tendencia asimilándola con una distribución en particular o puede presentarse erráticamente sin ninguna tendencia en particular, tal como se puede apreciar en la Ilustración 6.

2.4.2 Test de bondad

Las pruebas de bondad de ajuste miden la compatibilidad de una muestra aleatoria con una función teórica de distribución de probabilidades. En otras palabras, estas pruebas demuestran que tan bien la distribución seleccionada se ajusta los datos con los que se cuenta. (EasyFit, 2018). Dentro de las pruebas de bondad de ajuste más utilizadas y conocidas están las siguientes.

Ilustración 6: Variabilidad



Fuente: (SPC, 2018)

✓ **Test de Kolmogorov-Smirnov**

Es una prueba de bondad cuando $F_0(x)$ es continua. No necesita que los datos estén agrupados en intervalos y es aplicable cuando la muestra es pequeña. Esta se basa en una comparación entre las funciones de distribución acumulativa que se observan en la muestra ordenada y en la distribución propuesta bajo la hipótesis nula.

- $F(X)$ es la función de distribución que hipotetizamos
- $F_s(X)$ es la probabilidad o proporción teórica de valores que deben ser iguales o menores que x suponiendo cierta la hipótesis planteada
- $S(X)$ es la función de distribución obtenida en la muestra

En resumen

- Hipótesis: $H_0: F(X) = F_s(X)$
- Hipótesis $H_1: F(X) \neq F_s(X)$
- Muestra: n observaciones independientes
- Estadístico de contraste: $|D_n| = \text{máxima } |F_s(X) - S(X)|$

✓ **Test chi-cuadrado**

Es el nombre de una prueba de hipótesis que determina si dos variables están relacionadas o no. Los pasos que se llevan a cabo por realizar esta prueba son:

- Realizar una conjetura
- Escribir la hipótesis nula y la alternativa
- Calcular el valor X^2
- Determinar el valor de p y el grado de libertad
- Obtener el valor crítico

- Realizar una comparación entre el Chi-cuadrado calculado y el valor crítico
- Interpretar la comparación

La formulación de las hipótesis se define como:

- Nula (H_0) es aquella en la que se asegura que los dos parámetros analizados son independientes uno del otro.
- Alternativa (H_1) es aquella en la que asegura que los dos parámetros analizados si son independientes.

Para obtener el valor de Chi-cuadrado se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 1: Fórmula Chi-cuadrado

$$X^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

f_0 : frecuencia del valor observado

f_e : frecuencia del valor esperado

2.5 Medición del trabajo

La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en realizar una determinada tarea, ejecutándola de una forma previamente establecida. (López, 2016).

Esta herramienta es muy utilizada por los ingenieros industriales, ya que dichas mediciones se pueden emplear para múltiples propósitos. En el proceso de fijación de tiempos estándar quizá sea necesario emplear la medición para: comparar la eficacia de distintos métodos, repartir el trabajo dentro de los equipos o determinar el número de máquinas que puede atender un operario.

Una vez que el tiempo estándar queda definido se puede utilizar para: obtener información base para el programa de producción de la organización, fijar normas sobre uso de la maquinaria y la mano de obra.

Existen una serie de etapas que son necesarias para llevar a cabo la medición del trabajo, las cuales se detallan a continuación.

- **Seleccionar** el trabajo que va a ser objeto del estudio.
- **Registrar** los datos relativos a las circunstancias en que se realiza el trabajo, a los métodos y a los elementos de actividad que suponen.
- **Examinar** los datos registrados y el detalle de los elementos con sentido crítico para verificar si se utilizan los métodos y movimientos más eficaces y separar los elementos improductivos de los productivos.
- **Medir** la cantidad de trabajo de cada elemento, expresándola en tiempo, a través de la técnica más apropiada de medición de trabajo.
- **Compilar** el tiempo estándar de la operación previendo, en caso de estudios de tiempos con cronómetro, suplementos para breves descansos, necesidades personales, entre otros.
- **Definir** con precisión la serie de actividades y el método de operación a los que corresponde el tiempo computado y notificar que ese será el tiempo estándar para las actividades y métodos especificados.

Existen cuatro técnicas principales que se utilizan en la medición de tiempos de trabajo:

- Muestreo de trabajo
- Estimación estructurada
- Estudio de tiempos
- Normas de tiempo predeterminadas

2.5.1 Muestreo de trabajo

El muestreo de trabajo es una técnica que se utiliza para investigar las proporciones del tiempo total dedicado a las diversas actividades que componen una tarea, actividad o trabajo. Los resultados entregados por este muestreo sirven para determinar tolerancias o márgenes aplicables al trabajo, para evaluar la utilización de las máquinas y para establecer estándares de producción. (López & Valverde, 2018)

Este método es muy útil para determinar la utilización de máquinas y operarios, determinar las holguras o suplementos, establecer estándares de tiempo, entre otras. La teoría de muestreo se basa en las leyes fundamentales de la probabilidad. Los estadísticos han deducido la siguiente expresión que determina la probabilidad de “X” ocurrencias de un evento de “n” observaciones. (Ver Ecuación 2)

Ecuación 2: Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento

$$(p + q)^n = 1$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

p: probabilidad de ocurrencia de un evento o suceso.

q: (1-p) probabilidad de que no haya ocurrencia.

n: número de observaciones.

Para desarrollar un correcto muestreo del trabajo, se deben llevar a cabo las siguientes fases:

- Seleccionar la actividad a observar.
- Tomar una muestra preliminar de datos.
- Calcular el número de observaciones requeridas, en función de “p” y de los niveles de confianza y exactitud.

Ecuación 3: Cálculo del número de observaciones

$$N = \frac{Z^2 p(1 - p)}{E^2}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

Z: desviación normal estándar para un nivel de confianza.

P: proporción estimada de tiempo de las actividades. (Se puede usar experiencia pasada o $p=0,5$)

E: exactitud deseada o máximo error en % aceptado.

- Preparar una programación de observaciones aleatorias, usando tablas de números aleatorios.
- Observar, calificar y registrar las actividades del trabajador.
- Registrar el número de unidades producidas o servicios efectuados durante el período del estudio.
- Determinar el tiempo normal.
- Calcular el tiempo estándar o tiempo tipo al ajustar el tiempo normal con los suplementos o tolerancias.

Existe una fórmula alternativa a la anterior para calcular el tamaño de la muestra cuando se desconoce el tamaño de la población, la cual utiliza la desviación estándar. Dicha fórmula se presenta a continuación.

Ecuación 4: Fórmula para estimar tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{Z * \sigma}{e} \right)^2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

Z: nivel de confianza

σ : desviación estándar

e: error máximo tolerable

La Ecuación 3 y la Ecuación 4 hacen referencia a cuando el tamaño de la población es desconocido, en caso que se conozca dicha información, la muestra se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 5: Fórmula para calcular el tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

Z: nivel de confianza

p: proporción de elementos que poseen las características de interés

N: Tamaño de la población

q: 1-p

e: error máximo tolerable

Otra forma alternativa de calcular el tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población es a través de la siguiente ecuación, la cual utiliza la desviación estándar.

Ecuación 6: Fórmula para calcular el tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población utilizando la desviación estándar

$$n = \frac{Z^2 * N * \sigma^2}{\sigma^2 * Z^2 + (N - 1) * e^2}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

Z: nivel de confianza

σ : desviación estándar

N: Tamaño de la población

e: error máximo tolerable

2.5.2 Estimación estructurada

La técnica de estimación estructurada es un intento de tener en cuenta este hecho y al mismo tiempo de imponer una estructura y una disciplina sobre el proceso de estimación con el fin de que los resultados obtenidos puedan tratarse con confianza. (Roberto, 2018)

Las principal ventaja de esta estimación es que es barata y por consiguiente puede ser la única técnica adecuada para los trabajos no realizados en serie; puede utilizarse para predecir tiempos de un trabajo que no se ha observado y, en consecuencia, como base para calcular el precio de grandes trabajos únicos.

Normalmente se recurre a la estimación cuando los valores del tiempo necesario no tienen que ser muy detallado, por lo cual dicho método es útil para trabajos de ciclos largos y en situaciones en que se emplean datos de medición globales para la planificación o control.

2.5.3 Estudio de tiempos

Técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, que se lleva a cabo en condiciones determinadas y para analizar los datos con la finalidad de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida. (Industrial, 2016)

Para llevar a cabo un óptimo estudio de tiempo es necesario contar con una serie de elementos los cuales se nombraran y detallaran a continuación.

✓ Herramientas para el estudio de tiempos

El estudio de tiempos demanda cierto tipo de material fundamental como cronómetro, el cual se recomienda pueda ser de dos tipos según la OIT (Oficina Internacional del Trabajo), el mecánico que a su vez puede subdividirse en ordinario, vuelta a cero y cronómetro de registro fraccional de segundos; y el electrónico.

Otro elemento importante es el tablero de observaciones, que consiste en un tablero liso rígido, que actualmente están elaborados con plástico que sirve para apoyar el formulario de anotaciones. Este debe ser de dimensiones superiores al formulario más grande.

Finalmente se encuentra el formulario de estudio de tiempos que consiste en una hoja con una planilla o tablas de Excel en donde el encargado de realizar el estudio de tiempos pueda anotar los datos. Estos formulario no son estándar, ya que dependiendo del tipo de estudio y la persona que lo realice puede modificarse dependiendo de las necesidades.

✓ **Selección del trabajo**

Hace referencia a definir claramente la actividad que va a ser medida, pero que no solo aborda este tema, sino que también escoger al operario, el cual puede ser de dos tipos: trabajadores representativos son aquellos cuya competencia y desempeño son igual al grupo estudiado y los trabajadores calificados que tienen la experiencia, los conocimientos y otras cualidades necesarias para efectuar el trabajo en curso según normas satisfactorias de seguridad, cantidad y calidad. (López B. , 2016)

✓ **Delimitación y definición de los elementos**

En este punto se establecen conjuntos sucesivos de elementos que indicaran a los especialistas los puntos de *start*, *stop*, o anotación según el método que se utilice para cronometrar. La OIT ha expuesto reglas generales para delimitar los elementos de una operación, los cuales son:

- Los elementos deberán ser de identificación fácil y de comienzo y fin claramente definidos, de modo que una vez fijados puedan ser reconocidos una y otra vez.
- Los elementos deberán ser lo más brevemente posible, con tal de que algún analista experto pueda aun cronometrarlos cómodamente. La comodidad se maneja por los especialistas en términos de unidades mínimas de medición.
- Dentro de lo posible los elementos, sobre todo los manuales, deberían elegirse de manera que correspondan a segmentos naturalmente unificados y visiblemente delimitados de la tarea.
- Los elementos manuales deben separarse en toda medida de los mecánicos, particularmente cuando el estudio de tiempos forma parte de un proceso de estandarización de tiempos.

- Los elementos constantes deberían separarse de los variables.
- Los elementos que no aparecen en todos los ciclos (casuales y extraños) deben cronometrarse aparte de los que sí aparecen.
- ✓ **Cálculo del número de observaciones (tamaño de la muestra)**

Este proceso tiene como objetivo determinar el valor del promedio representativo para cada elemento. Los métodos más utilizados para determinar el número de observaciones son:

- Método estadístico que requiere que se efectúen cierto número de observaciones preliminares, para luego poder aplicar la siguiente fórmula, con un nivel de confianza del 95,45% y un margen de error de $\pm 5\%$.

Ecuación 7: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

n: tamaño de la muestra que deseamos calcular (número de observaciones)

n': número de observaciones del estudio preliminar

x: valor de las observaciones

40: constante para un nivel de confianza de 95,45%

- Método tradicional que consiste en llevar a cabo el siguiente procedimiento sistemático:
 - Realizar un muestreo tomando diez lecturas si los ciclos son ≤ 2 minutos y cinco lecturas si los ciclos son > 2 minuto, debido a que los tiempos más grandes tienen mayor confiabilidad, que los tiempos muy pequeños donde la probabilidad de error puede aumentar.

- Calcular el rango o intervalo de los tiempos de ciclo, es decir, restar del tiempo mayor el tiempo menor de la muestra.

Ecuación 8: Cálculo del rango

$$R(RANGO) = X_{max} - X_{min}$$

Fuente: (Ross, 1997)

- Calcular la media aritmética o promedio

Ecuación 9: Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$\sum x$: sumatoria de los tiempos de muestra

n: número de ciclos tomados

- Hallar el cociente entre rango y la media

Ecuación 10: Cociente rango/media

$$\frac{R}{\bar{X}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

- Buscar ese cociente en la tabla adjunta en el Anexo 1, en la columna (R/X), se ubica el valor correspondiente al número de muestras realizadas (5 o 10) y ahí se encuentra el número de observaciones a realizar para obtener un nivel de confianza del 95% y un nivel de precisión de $\pm 5\%$

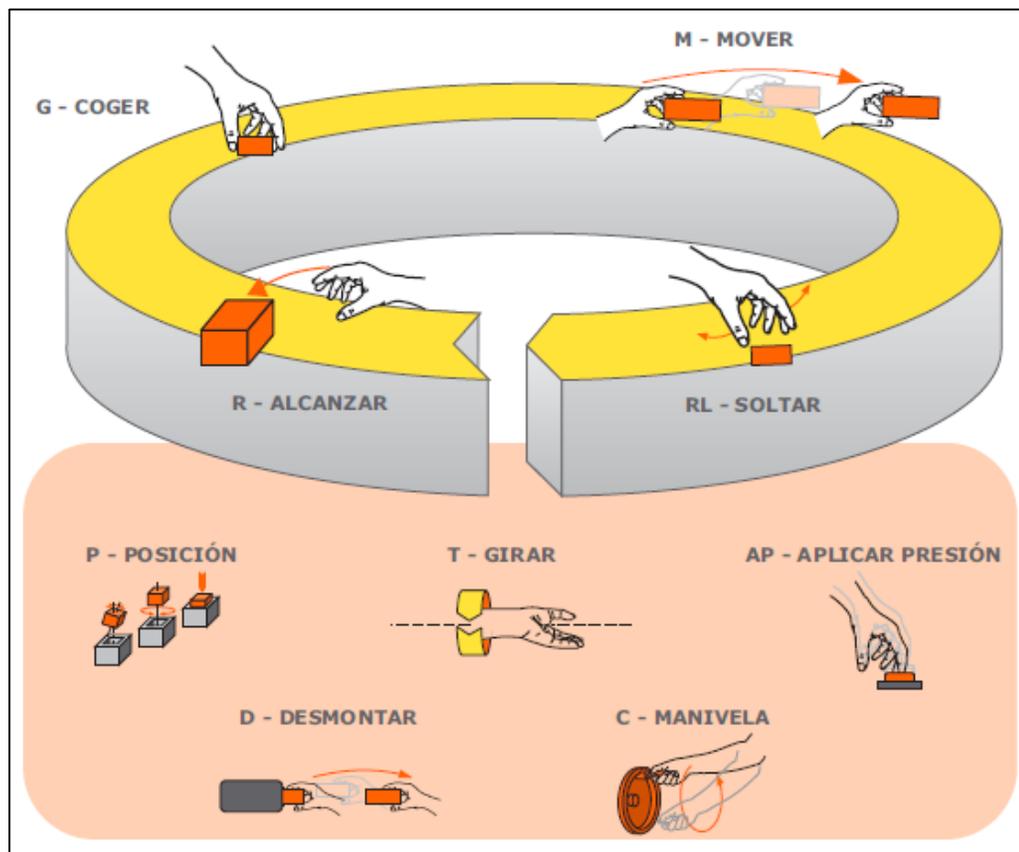
2.5.4 Normas de tiempo predeterminadas

Se definen como procedimientos que permiten calcular tiempos teóricos de ejecución de actividades totalmente influenciados por el hombre. De la utilización de estos tiempos surgen ideas para la optimización de diseño de puestos y métodos de trabajo. (Ingenieros, 2017)

MTM es un procedimiento para el análisis de cualquier operación o método manual mediante su descomposición en los movimientos básicos requeridos para su realización a los

cuales se asigna un tiempo predeterminado basado en su naturaleza y las condiciones bajo las cuales se ejecuta. (Ver Ilustración 7)

Ilustración 7: Micromovimientos comunes en tablas MTM



Fuente: (MTM Ingenieros, 2013)

Para analizar un movimiento o método manual determinado, hay que tomar en cuenta los movimientos básicos de este y valorizarlos en TMU. Los pasos a seguir en el análisis de una operación con el MTM son:

- Determinar los movimientos básicos con los que se componen una operación manual.
- Definir las variables que afectan al movimiento u operación en estudio.
- Buscar en las tablas correspondientes a cada elemento básico.
- Sumar los valores obtenidos en las tablas.

Dentro de una operación compuesta por innumerables movimientos se extraen los siguientes

- Mano izquierda: se dirige a un objeto situado a 30cms, a continuación coge un objeto y lo mueve hacia la mano derecha a la que transfiere el objeto.
- Mano derecha: lo mueve 10cms hasta la situación exacta en la cual la pone en posición y después deja la carga.

Esta corta sucesión está compuesta por al menos 8 movimientos predeterminados, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Movimientos predeterminados

Mano izquierda	TMU	Mano derecha
R30C	14,2	-
G4A	7,3	-
M25A	11,3	-
G3	5,6	G3
-	5,2	M5C
-	5,6	P1SE
-	2	RL1
TOTAL	51,2	

Fuente: Elaboración propia en base a (López, 2018)

Los movimientos tienen tiempos predeterminados según la unidad TMU (1 TMU = 0,036 segundos). Por ende la sucesión de movimientos que se extrajeron de la operación tiene un tiempo total predeterminado de 1,84 segundos (51,2 TMU). Este tiempo se puede considerar como respectivo a un rendimiento estándar (100/100), por ende podemos compararlo con el tiempo que emplea el trabajador que estamos observando en ejecutar dicha sucesión de movimientos, para así determinar cuál es su ritmo de trabajo.

Para poder determinar el tiempo en TMU es necesario contar con las tablas de tiempo de las operaciones básicas de los micromovimientos que se pueden observar en el Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5 y en el Anexo 6.

2.6 Muestreo estratificado

En este muestreo los individuos se dividen en grupos o estratos, en el cual cada elemento pertenece a un único estrato. La muestra se elige escogiendo en cada estrato un número representativo de individuos. La elección de los elementos en cada estrato se realiza mediante algún método de muestreo. (Fórmulas, 2017)

El número de individuos que se eligen de cada estrato se puede decidir mediante diversos criterios:

- Elección simple: se toma el mismo número de sujetos de cada uno de los k estratos. De cada estrato se seleccionan n/k individuos. Este criterio no es recomendable cuando los estratos tienen diferente número de individuos.
- Elección proporcional al tamaño del estrato: el tamaño de la muestra en cada grupo es proporcional a los elementos de dicho grupo. En cada estrato se tomarán n elementos calculados mediante la fórmula:

Ecuación 11: Cálculo de los elementos del estrato

$$n_i = n \frac{N_i}{N}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

N: número de elementos de la población

n: número de elementos de la muestra

N_i : número de elementos del estrato i

- Elección proporcional a la variabilidad del estrato: si se conoce la variabilidad de las características que estamos tomando en cuenta en cada estrato, se toman los sujetos proporcionalmente a ella en cada grupo. En los grupos donde la varianza es mayor, se toman, por tanto más sujetos.

Ecuación 12: Calculo de los elementos del estrato con variabilidad

$$n_i = n \frac{\sigma_i N_i}{\sum_{j=1}^k \sigma_j N_j}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

n: número de elementos de la muestra

N_i: número de elementos del estrato i

σ_i: Desviación típica del estrato i

Este método se utiliza cuando los elementos se dividen en estratos y estos estratos pueden ser diferenciales para la variable que se está estudiando, también cuando los grupos o estratos son muy homogéneos internamente y diferente entre ellos.

2.7 Rediseño de procesos

El rediseño de procesos es parte de la dirección de procesos, también llamada excelencia operacional y responde a la necesidad de un cambio grande en el proceso, siempre manteniéndose el mismo objetivo: servir la estrategia de la organización, la cual debe estar centrada en el cliente y satisfacer a las demás partes interesadas. Dada la complejidad del rediseño, contar con un método completo, adaptado, realista que incorpore las mejores prácticas y responda a los estándares del medio es un gran logro para la organización. (Carrasco, 2016)

El rediseño de procesos cuenta con algunas etapas que son importantes de tener en cuenta para llevar a cabo dicho proceso:

- ✓ **Identificación** de los procesos estratégicos, operativos y de soporte existentes. Creación del mapa de proceso.
- ✓ **Jerarquización** del mapa de procesos para su rediseño. Priorización y determinación de los procesos claves.
- ✓ **Análisis y desarrollo** de la visión de los nuevos procesos mejorados.

- ✓ **Puesta en marcha** de los nuevos procesos (procesos pilotos).
- ✓ **Informe de éxitos** y procesos posteriores de mejora continua.

2.8 Qué es la simulación

Según Winston (1994) se puede definir la simulación como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo. La simulación no es una técnica de optimización, más bien es una técnica para estimar las medidas de desempeño del sistema modelado

2.8.1 ¿Por qué simular?

Cuando se posee un sistema constantemente se están tomando decisiones sobre las acciones a realizar sobre dicho sistema. Dichas decisiones deben ser tales que los resultados satisfagan de la mejor forma posible los objetivos planteados.

Para tomar las mejores decisiones es necesario conocer cómo responderá el sistema ante posibles acciones. Muchos pensarán que dichas acciones se pueden aplicar sobre el sistema real a través de una experimentación, sin embargo esta acción por lo general no es viable por factores de costo, seguridad, espacio físico, entre otros. Para poder superar estos inconvenientes, el sistema real es reemplaza por un modelo computacional simplificado que representa al sistema real. Este último sistema es el que se utiliza para experimentar y dicha experimentación se denomina simulación.

2.8.2 Cuando simular

No siempre es necesario simular para poder analizar los sistemas, muchas veces solo se necesitan otras herramientas más sencillas, sin embargo en ciertos escenarios es imprescindible contar con la simulación, la cual es conveniente cuando:

- Los experimentos son imposibles de llevar a cabo en el sistema real, ya sea por impedimentos económicos, de seguridad, éticos, de calidad, entre otros.
- El sistema evoluciona muy lentamente o muy rápidamente
- No existe una formulación matemática analíticamente razonable

- Existe una formulación matemática pero es difícil obtener una solución analítica

2.8.3 Problemas de la simulación

Como todo lo que existe posee cosas negativas, la simulación no es la excepción ya que presenta algunas desventajas que son importantes de conocer a la hora de llevarla a cabo.

- El desarrollo del modelo de simulación en muchas ocasiones puede resultar lento, costoso y laborioso.
- Se pueden cometer errores ya que la experimentación se lleva a cabo con el modelo simulado y no con el real, por lo que cualquier error en los datos, los resultados no serán coherentes con el sistema.

2.8.4 Áreas de aplicación de la simulación

Es posible utilizar la simulación en muchas áreas de las organizaciones, las más comunes son las siguientes:

- **Procesos de manufactura:** permite detectar cuellos de botella, distribuir personal, determinar una política de producción, entre otras.
- **Plantas industriales:** entrega información valiosa para establecer condiciones óptimas de operación y elaboración de procedimientos de operación y de emergencia.
- **Sistemas de transporte:** para detectar posible zonas de congestión, zonas con mayor probabilidad de accidentes, entre otras.
- **Construcción:** predecir el efecto de los vientos y terremotos sobre la estabilidad de las construcciones, detectar parte de las edificaciones que deben ser reforzadas, entre otras.
- **Educación:** permite ayudar a comprender un sistema real debido a que puede expandir, comprimir y detener el tiempo, además de entregar información sobre variables que no pueden ser medidas en el sistema real.

2.8.5 Primeras simulaciones

Es importante conocer también los primeros que utilizaron las simulaciones para corregir y detectar problemas que los afectaban, algunos de los más importantes trabajos en el pasado y que tuvieron un gran impacto fueron:

- **La Perestroyka:** fue un estudio de simulación realizado en Rusia en la década del setenta y ochenta relacionado con cambiar la economía del país.
- **El regreso del Apolo 13:** la simulación en esta situación fue muy relevante, ya que permitió crear un plan de emergencia. Gracias a este la nave retorno con éxito a pesar de las graves averías.
- **Simuladores de vuelo:** fue una de las primeras aplicaciones de los simuladores. Actualmente se utiliza para capacitar a pilotos de aviones comerciales y de combate.
- **Proyecto Monte Carlo:** Von Newman y Ulam (1945) utilizaron la simulación para estudiar reacciones nucleares.
- **Los Voyagers:** gracias a la simulación se pudieron establecer los itinerarios óptimos para estas naves con un mínimo de consumo de energía aprovechando la atracción gravitacional de los planetas.

2.8.6 Terminología de la simulación

Cuando se quiere llevar a cabo un estudio de simulación, es necesario conocer e identificar claramente algunos conceptos que permitirán conocer cómo funciona el modelo a realizar, los cuales se proceden a explicar a continuación.

✓ Sistema

Parte de la realidad que es el tema central de estudio y que está compuesto por elementos o componentes que interactúan entre sí con reglas establecidas dentro de una frontera previamente establecida. Un sistema se caracteriza principalmente porque puede realizar una función que cada componente por separado no puede lograr.

✓ **Estado de un sistema**

Conjunto de variables necesarios para describir el status del sistema en algún momento determinado y en cualquier instante de tiempo.

✓ **Clasificación de sistemas**

El sistema de acuerdo a su naturaleza se puede clasificar dentro de cuatro grupos, dependiendo principalmente de las características de los elementos que componen el sistema.

- **Determinístico:** si el sistema no contiene ningún elemento aleatorio es determinístico. En este tipo de sistema, las variables de salida e internas queda perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las variables de estado, es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas.
- **Estocástico:** en este algún elemento del sistema tiene una conducta aleatoria, lo que quiere decir que para entradas conocidas no es posible asegurar los valores de salida. Cuando un sistema determinístico es alimentado con entradas estocásticas, la respuesta del sistema también es estocástico. En el mundo real los sistemas siempre tienen elemento estocásticos ya sea por su propia naturaleza o porque son fenómenos no comprendidos actualmente, sin embargo se puede considerar a un sistema real con un sistema determinístico si su incertidumbre es menor que su valor esperado.
- **Continuo:** se posee un sistema continuo cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo en forma continua. Si se define de forma matemática, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo.
- **Discreto:** este tipo de sistema se caracteriza por que las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito de puntos temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estado se denominan eventos.

✓ **Entidades y eventos**

Las entidades pueden ser personas u objetos, reales o imaginarios, las cuales con su movimiento causan un cambio en el estado del sistema. Las entidades son aquellas que están siendo producidas o atendidas o que de cualquier otra manera influyen en nuestro proceso.

Las entidades son objetos dinámicos, ya que usualmente son creadas, fluyen por un tiempo y después se van, aunque hay ocasiones en que estas no se van y permanecen circulando por el sistema. A las características o propiedades que poseen dichas entidades corresponden a los atributos y se relacionan entre sí a través de relaciones o funciones.

Un evento es un cambio en el sistema que es objeto de estudio, dicho evento puede ser de cualquier naturaleza.

✓ **Recurso**

Las entidades a menudo compiten entre ellas por los servicios que les brindan los recursos, los cuales pueden ser personas, equipos o espacio en un área de almacenamiento. Una entidad puede ocupar un recurso en la medida que este último esté disponible y lo libere cuando ya no lo necesita. Un recurso puede tener una capacidad variable, pero puede ser modificada durante el proceso de la simulación.

✓ **Variables globales**

Información que refleja alguna característica de un sistema, independiente de cuentas o de qué tipo de entidades se encuentren en el sistema. Las variables no especifican una entidad en particular, sino que especifican al sistema completo. Estas son accesibles por todas las entidades y algunas pueden ser cambiadas por cualquier entidad.

✓ **Acumuladores estadísticos**

Se definen como las variables que se utilizan para tener las medidas de rendimiento durante el proceso de simulación.

2.8.7 Etapas de una simulación

Los procesos de simulación cuentan con una metodología estándar para su elaboración, sin embargo no necesariamente todos los estudios poseerán exactamente las mismas etapas, ya que en algunos casos se omiten porque no se consideran necesarias y en otros casos prefieren unificar las etapas porque las consideran similares. Sea cual sea la decisión, las etapas de la simulación son las que se muestran a continuación, o para su mejor entendimiento ver Ilustración 8.

✓ **Formulación del problema**

Como todo estudio de cualquier ámbito y de cualquier área es necesario que quede bien definido el por qué se está llevando a cabo dicha labor, por lo cual en esta etapa debe quedar definido el problema que se pretende resolver con el modelo de simulación y establecer lo que se pretende lograr con dicho estudio, es decir, deben quedar definidos los objetivos que se pretenden alcanzar.

✓ **Definición del sistema**

A la hora de llevar a cabo la simulación es necesario que se defina claramente la frontera o los límites de la simulación, lo cual dependerá de la problemática y de los objetivos que se pretendan alcanzar. Es muy importante que estos límites sean los adecuados, ya que en caso de que se esté considerando más de lo necesario (procesos que no entregan información o no pertenecen al área para dar respuesta a la problemática) implicará un gasto excesivo de costo y tiempo para la persona a cargo de llevar el trabajo, principalmente en la toma de datos.

✓ **Formulación del modelo**

Una vez que la problemática ha sido identificada y los objetivos han sido especificados es necesario que se realice algún bosquejo del proceso a estudiar, una alternativa para entender en primera instancia el proceso de forma general es realizar un diagrama de flujo para identificar los principales procesos involucrados en el estudio, otra alternativa (la más utilizada) es desarrollar un modelo gráfico del proceso o layout. Con un layout, el nivel de detalle es suficiente para poder utilizarlo para el modelo físico de la simulación, además de

servir para la recolección de datos, pues aquí se puede visualizar de mejor manera cada uno de los procesos y los equipos que participan, de esta forma será más fácil saber que datos son los que se necesitan para llevar a cabo la simulación y permite saber además los flujos de personas, materiales y vehículos que participan en el proceso.

✓ **Colección de datos**

Esta es sin lugar a dudas la etapa más importante para el desarrollo de una simulación, sin los datos correctos el modelo está destinado al fracaso pues no va a representar fidedignamente la situación real y de esta forma el problema no se solucionara y los objetivos no serán alcanzados.

Esta actividad por su naturaleza es la más tediosa, principalmente por la cantidad de tiempo que se debe emplear para la recolección de la información, aunque depende de cierta forma de cómo se consiguen los datos: en algunas ocasiones las empresas poseen datos históricos o mediciones realizadas al modelo actual, en este caso solo hace falta revisarlos para extraer aquellos que serán útiles para el modelo y procesarlos para darles el formato adecuada exigido por el modelo. En otras ocasiones se da el escenario de que la empresa no posea ningún dato, en este caso es responsabilidad del modelador obtener de forma manual todos los datos necesarios.

✓ **Implementación o desarrollo del modelo**

Una vez realizadas todas las etapas anteriores ya se puede desarrollar el modelo computacionalmente implementando algún software en específico. Existen muchos programas computacionales que se pueden utilizar para dicha labor, sin embargo cabe mencionar que no son gratis y hay que adquirir la licencia para poder utilizarlo. Si el modelo es a pequeña escala, se pueden utilizar programas gratis de prueba que se pueden conseguir en internet.

✓ **Verificación**

En muchas ocasiones la verificación se lleva a cabo al final del desarrollo, una opción es verificar que el modelo realiza lo que el modelador definió, aunque no es lo más prudente.

Lo que se indica que se haga en esta etapa es verificar a través de corridas de prueba, indicadores de tiempo, eficiencia, entre otros que facilita el mismo software.

Aún más, si se quiere que el modelo funcione correctamente es necesario que el modelo de simulación sea verificado durante todo el proceso de confección, de esta forma es más probable que el modelo este correcto al final.

✓ **Validación**

En esta etapa se comprueba que el modelo haya sido elaborado correctamente, es decir, que represente el proceso real. Esto se puede llevar a cabo comparando las predicciones de la simulación con datos históricos, con el sistema real o en algunos casos con sistemas similares. En caso de que el modelo no sea adecuado se puede modificar el modelo o recolectar datos adicionales si corresponde.

✓ **Experimentación**

En esta etapa se realizan las simulaciones de acuerdo al diseño previo, busca experimentar o evaluar diferentes escenarios del sistema realizando análisis de sensibilidad para buscar los mejores resultados de acuerdo a los objetivos planteados. Es importante establecer indicadores de desempeño para poder realizar comparaciones de los diferentes escenarios.

En esta etapa además es importante tener en cuenta el número de simulaciones que han sido completadas, el tiempo que dura la simulación y el número de veces que se repetirá cada ejecución.

✓ **Interpretación y documentación**

Aquí se deben aclarar los resultados obtenidos en el experimento, observaciones hechas durante el proceso, toma de decisiones, conclusiones y recomendaciones del proceso. Cada vez que se realiza una corrida en la simulación, es responsabilidad del modelador preparar informes con la información más relevante, aunque existen algunos programas computacionales que generan documentos que pueden facilitar dicha labor.

En caso de que los resultados muestren modificaciones en los procesos que requieren de inversión, es importante que se muestren de forma detallada en el informe los costos que se requieren.

✓ **Implementación**

Aquí el modelo ya está listo para su funcionamiento y la parte interesada debe dar la aprobación para implementarlo en la empresa. Es importante que el modelador este presente para el buen manejo del simulador o para verificar los resultados.

2.9 Validación del modelo de simulación

Es una de las etapas críticas del proceso de simulación, ya que permite determinar si el modelo está libre de errores y es válido para dar respuesta a los objetivos que se han planteado para el estudio. Se debe comprobar que el modelo cumpla con el objetivo establecido, en otras palabras que represente correctamente el funcionamiento del sistema real.

Esta etapa se debe llevar a cabo durante todo el proceso de desarrollo de la simulación y no solo en la fase final, ya que de esta forma permitirá evaluar y corregir el modelo constantemente en periodos de tiempo.

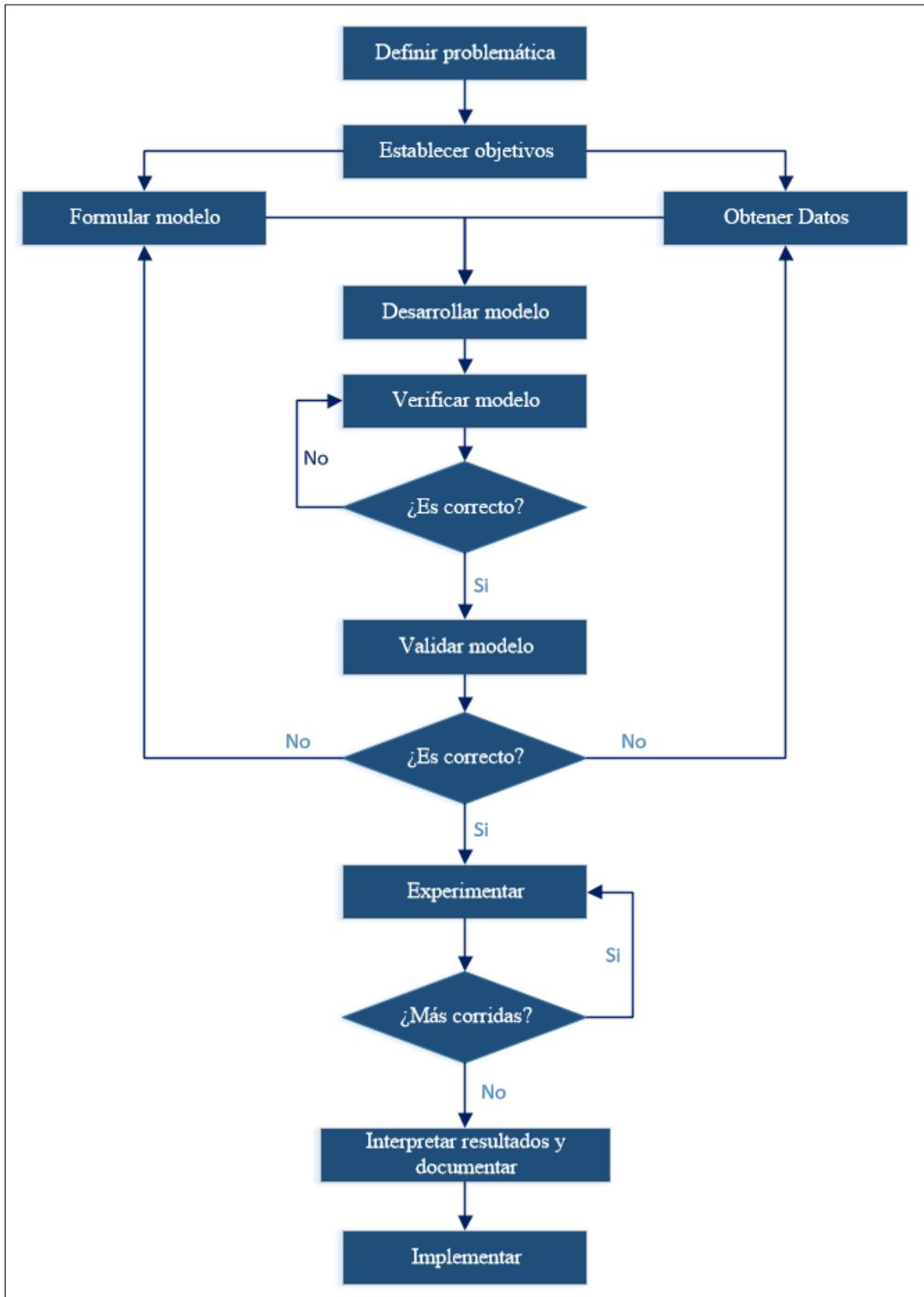
2.9.1 Métodos de validación

Para poder llevar a cabo una correcta validación del modelo de simulación, existen algunos métodos estadísticos que permiten realizar dicha tarea, los más comunes son los siguientes:

✓ **Comparar los valores de salida del modelo con los del sistema real**

Consiste en ejecutar un modelo para obtener datos y compararlos a través de un método estadístico, para determinar de esta forma si el modelo realizado representa al sistema real de estudio.

Ilustración 8: Diagrama metodología de simulación



Fuente: Elaboración propia en base a

El test de hipótesis permite la comparación de resultados mediante un estadístico de prueba y un valor crítico. La utilización de un estadístico se realiza mediante un procedimiento sistemático de cinco pasos:

- Se plantea la hipótesis nula y la alternativa.
- Se selecciona el nivel.
- Se identifica el estadístico de prueba.
- Se forma la regla de decisión.
- Se toma una muestra y se decide si se rechaza H_0 o se acepta H_0 y se acepta H_1 .

Considerando lo anterior se estima la igualdad de medias mediante la utilización del test de hipótesis para dos casos particulares

i. Varianzas iguales

Tomando dos muestras x_1 y x_2 normales e independientes con medias desconocidas μ_1 y μ_2 y varianzas desconocidas pero iguales σ_1^2 y σ_2^2 . Se desea probar la siguiente hipótesis

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Suponiendo que $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}$ es una muestra aleatoria de n_1 observaciones de la población X_1 y $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}$ es una muestra aleatoria de n_2 observaciones de la población X_2 . Sean $\bar{x}_1, \bar{x}_2, S_1^2, S_2^2$ las respectivas medias y varianzas de las muestras.

Se estima que a partir de las varianzas muestrales, una varianza común σ^2 , combinándolos en una sola expresión:

Ecuación 13: Fórmula combinada

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Se utiliza el estadístico de prueba *t-student* con muestras independientes, donde el valor crítico a estimar se obtiene de la siguiente fórmula:

Ecuación 14: Calculo t-student

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Si $H_0: \mu (\text{modelo}) = \mu (\text{real})$ es verdadera, t_0 se distribuye como $t_{n_1+n_2-2}$. Por lo que si se cumple la siguiente relación:

Ecuación 15: Condición de rechazo

$$t_0 > t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Rechazamos $H_0: \mu (\text{modelo}) = \mu (\text{real})$

ii. Varianzas diferentes

Se utiliza cuando no se puede asegurar que las varianzas sean iguales. Para estos casos no existe un estadístico de prueba exacto sin embargo, la siguiente fórmula es de gran ayuda para realizar la prueba.

Ecuación 16: Estadístico de prueba para varianzas diferentes

$$t_0^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Este estimador distribuye aproximadamente como t, con grados de libertad dados por la siguiente fórmula:

Ecuación 17: Grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1+1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2+1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

✓ **Elección del tamaño de la muestra**

Para varianzas diferentes la distribución t_0^* se desconoce si la hipótesis nula es falsa, por lo que se puede utilizar la siguiente fórmula para determinar el tamaño de la muestra a través de la utilización de la curva característica de operación que se puede apreciar en el **anexo**

Ecuación 18: Tamaño de la muestra

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{2\sigma} = \frac{|\delta|}{2\sigma}$$

Fuente: (Ross, 1997)

✓ **Número de simulaciones**

Cuando se lleva a cabo una simulación y debido a su naturaleza probabilística es necesario saber la cantidad de réplicas que deben llevarse a cabo para encontrar resultados fiables, ya que cada vez que se ejecuta la simulación los resultados se estabilizan llevando a resultados de mejor calidad. La siguiente fórmula permite calcular el número de réplicas que se deben llevar a cabo para obtener resultados de calidad.

Ecuación 19: Número de simulaciones

$$n \geq \left(\frac{\left(\frac{ta}{2} n_0 - 1 * S(n_0) \right)^2}{e} \right)$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

n: número de replicas

n_0 : tamaño de la muestra piloto

$S(n_0)$: desviación estándar de la muestra piloto

e: error máximo permisible entre la media del modelo de simulación y el sistema real

t: estadístico *t-student* con $(n_0 - 1)$ grados de libertad y un nivel de confianza de $\frac{a}{2}$

2.10 Metodología

Para un correcto desarrollo del proyecto este se divide en una serie de etapas las cuales se nombran y detallan a continuación:

1. Análisis de la empresa

- Investigar a la organización.
- Identificar y describir los procesos productivos que serán parte del sistema en estudio.
- Recopilar y limpiar datos obtenidos de bitácoras.

2. Análisis de información

- Analizar información para identificar las posibles causas que generen la problemática presente en el área de producción de manzanas de la empresa.

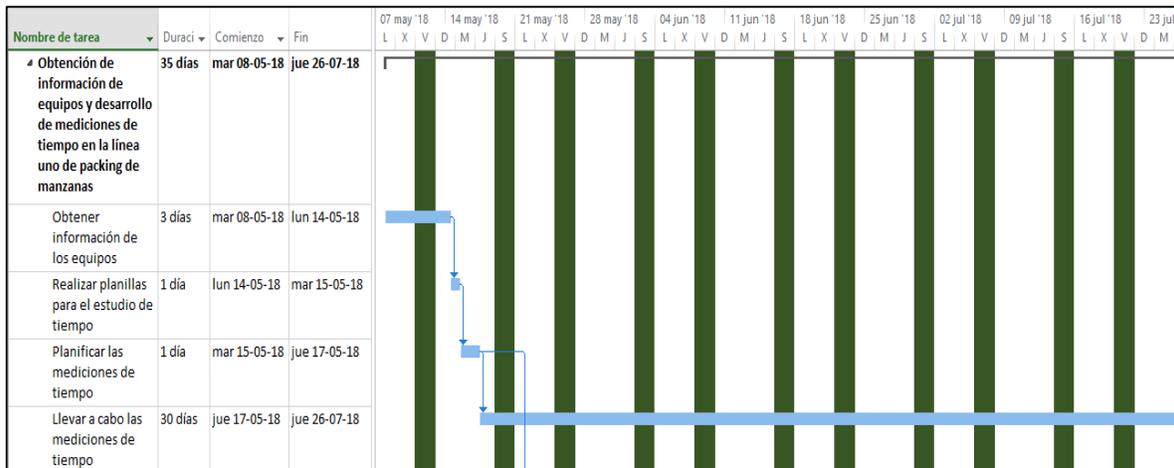
3. Obtención de información de equipos y desarrollo de mediciones de tiempo en la línea uno de packing de manzanas.

- Obtener información de los equipos.
- Realizar planillas para el estudio de tiempos.
- Planificar las mediciones de tiempo.
- Llevar a cabo las mediciones de tiempo.

4. Análisis de la situación actual

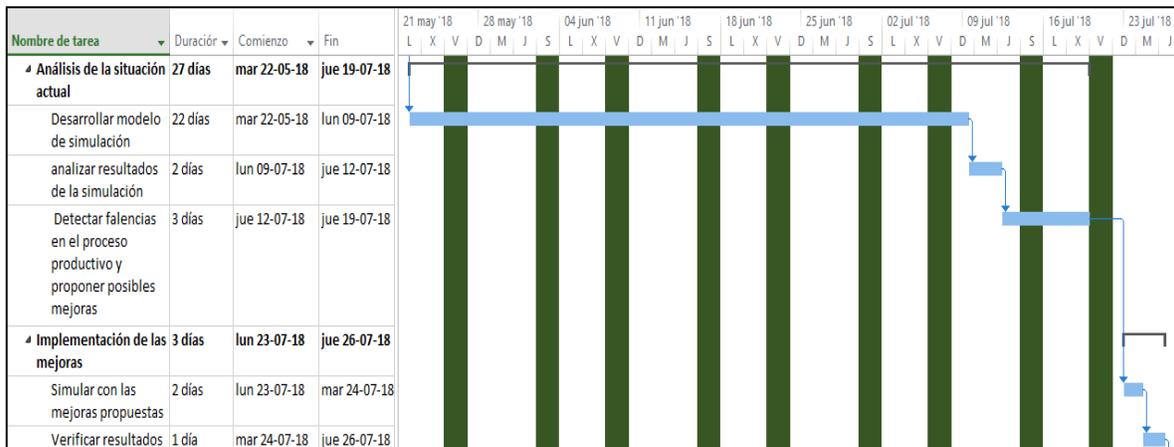
- Desarrollar un modelo de simulación.
- Analizar resultados de la simulación.
- Detectar falencias en el proceso productivo y proponer posibles mejoras.

Ilustración 10: Carta Gantt parte II



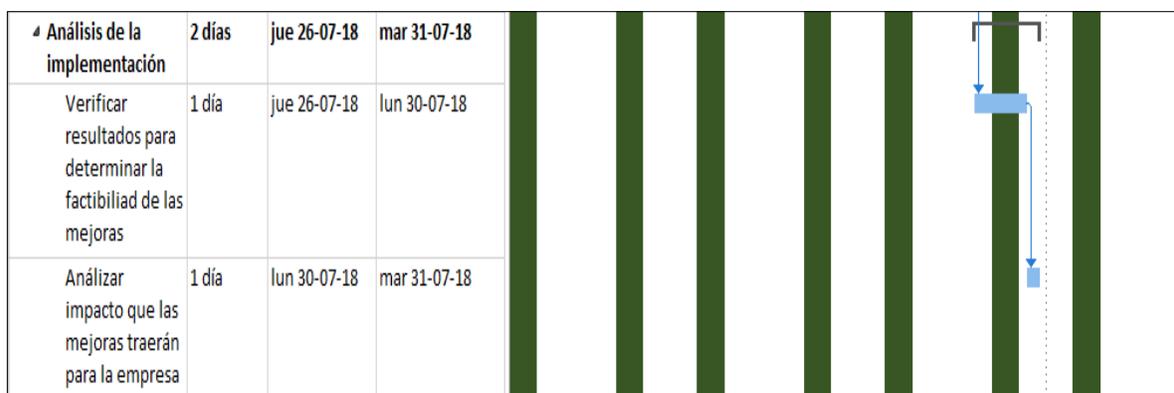
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11: Carta Gantt parte III



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12: Carta Gantt parte IV



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

En este capítulo se desarrolla un análisis de problemáticas presentes en el proceso productivo de manzanas que no permiten el funcionamiento eficiente de esta, respaldándose en datos obtenidos de bitácoras facilitadas por la empresa.

3 Problemas detectados en packing

Como toda empresa productiva FRUTASOL ha ido modificando sus procesos productivos principalmente en el área de packing, agrando elementos para aumentar principalmente la producción diaria. El área de packing presenta un problema debido a que no es eficiente en la producción, pues no aprovecha de buena forma la capacidad nominal de la línea, lo que se asocia comúnmente a cuellos de botella. Sin embargo pueden existir otras causas que, aunque influyan de menor medida, expliquen el porqué de la ineficiencia presente y que son importantes de analizar.

En los siguientes puntos se revisan algunas posibles causas de la problemática, las cuales son posibles de analizar y estudiar gracias a que la empresa cuenta con dicha información, sin olvidar evidentemente que es solo un análisis inicial y que al final del trabajo se podrá determinar si son la causa del problema y que puedan existir otras causas.

3.1 Tiempos muertos

En esta parte del trabajo se realiza un análisis de las principales pérdidas de tiempo presentes en la línea uno de producción de manzanas de exportación. Para llevar a cabo el análisis se han clasificado en tres grandes grupos dichas pérdidas.

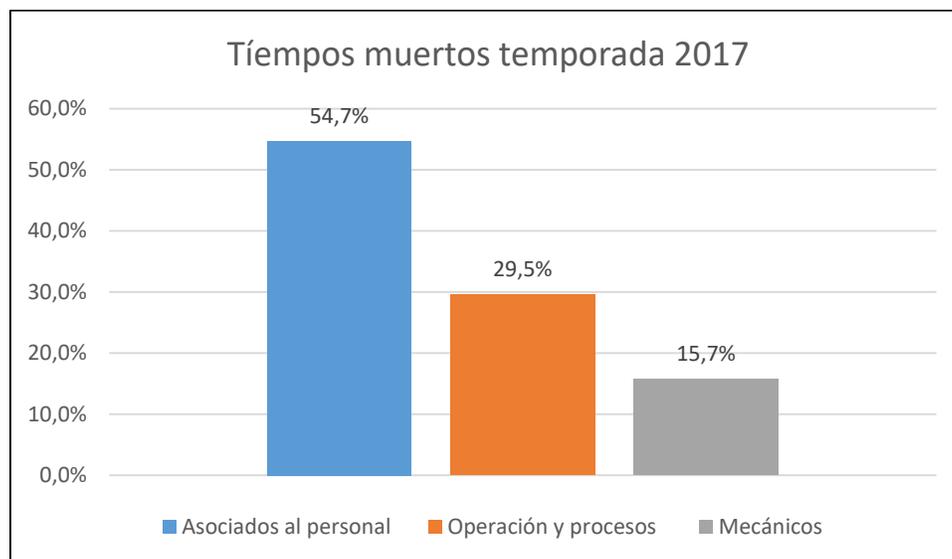
- Pérdidas de tiempo asociadas al personal en las que se incluyen charlas de inducción, de seguridad, celebraciones, entre otros.
- Pérdidas de tiempo en operaciones y procesos en los que se incluyen cambios de variedad, de calibre, de materiales, de energía, entre otros.
- Pérdidas de tiempo por fallas mecánicas que incluye principalmente las fallas en los equipos.

En el Gráfico 1 se puede apreciar los porcentajes de desperdicio por cada categoría del periodo de packing 2016-2017 en el cual se puede observar que la mayor fuente de pérdida de tiempo corresponde a los asociados al personal, lo cual se debe principalmente por los llamados ejercicios compensatorios, que hacen referencia a ejercicios básicos que se realizan por lo repetitivo del trabajo (movimientos de manos, brazos, elongaciones, entre otros), los cuales se llevan a cabo diariamente después de la hora de almuerzo. También están los

tiempos de operación y proceso cuya principal fuente de pérdida de tiempo son los cambios de cuarteles de donde proviene la fruta.

Lo que llama la atención es el poco tiempo perdido por falla mecánica en los equipos, lo que hace suponer la buena mantención que se le realiza a los equipos y componentes de la línea de producción.

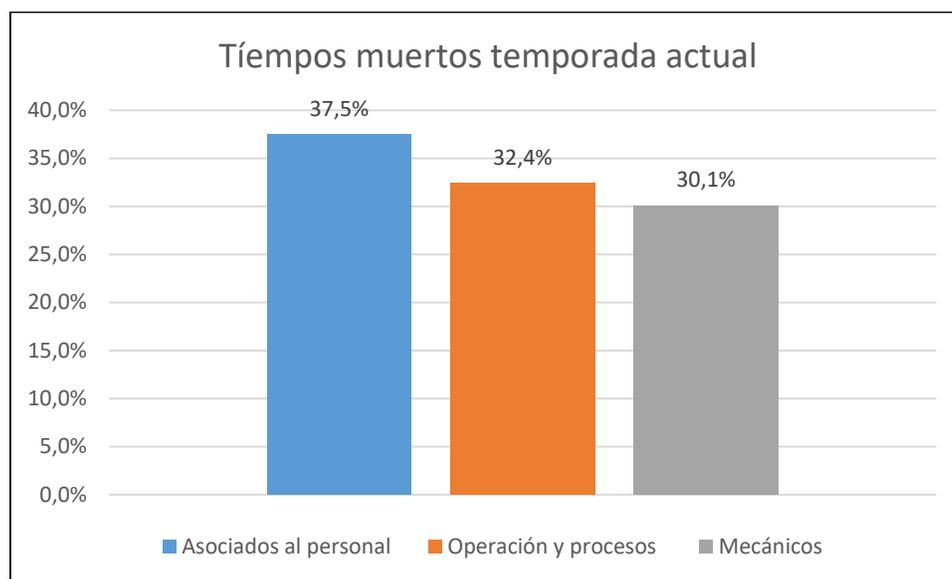
Gráfico 1: Fuentes de pérdida de tiempo temporada 2017



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por empresa FRUTASOL

Si se realiza una comparación con lo que actualmente va de la temporada 2018 el escenario es similar, en el Gráfico 2 se puede observar la misma tendencia, sin embargo los porcentajes son muy parecidos, en comparación con lo anterior gráfica. Lo que llama la atención es el aumento de los tiempos de fallas mecánicas, lo que puede traducirse como un mayor desgaste con el paso del tiempo (vida útil) o que el control de mantención no es el adecuado, ya sea por falta de personal en esta área o porque simplemente no se llevan a cabo periódicamente.

Gráfico 2: Fuentes de pérdida de tiempo temporada actual



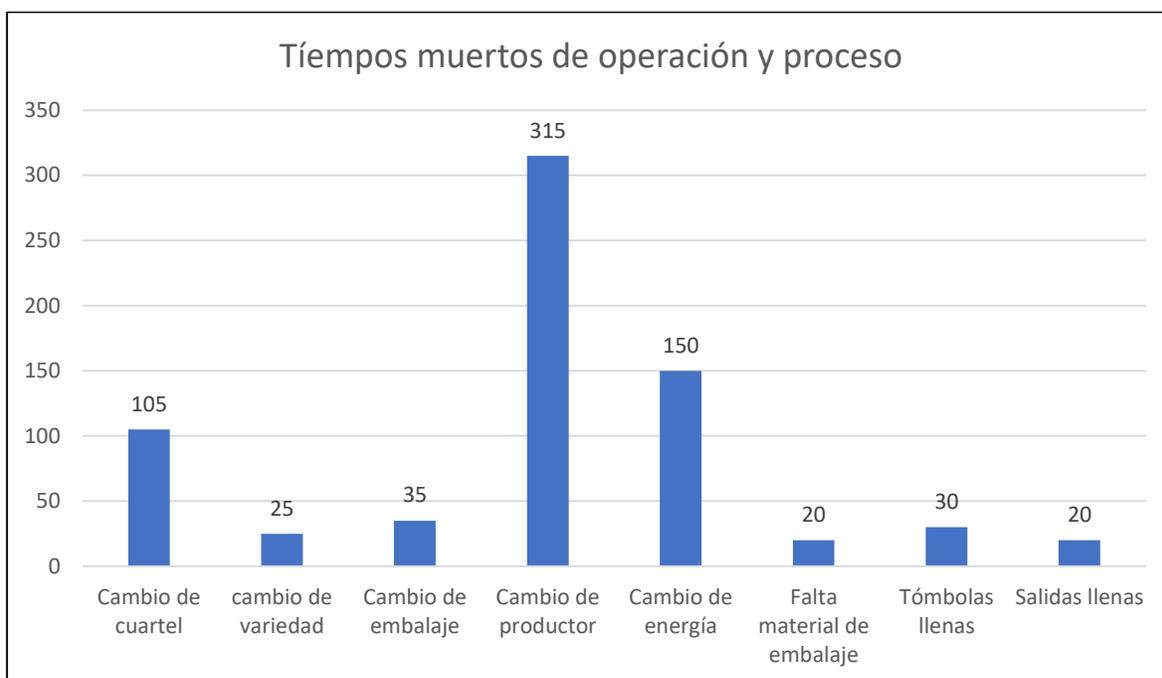
Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

3.1.1 Tiempos muertos de operación y proceso

Si se lleva a cabo un desglose de este ítem del Gráfico 2 que corresponde a pérdidas de tiempo por cambio de variedad de manzana, de materiales, entre otros se podrá apreciar que la mayor fuente de esta pérdida de tiempo dentro de este grupo corresponde a cambio de productor y limpieza de cintas como lo indica el Gráfico 3.

El elemento cambio de productor hace referencia a que FRUTASOL no solo embala su propia fruta de los diferentes huertos que posee sino que también presta el servicio de embalaje a pequeños productores de la zona, por lo cual constantemente está cambiando al productor de la fruta ya que debe atenderlo en la medida en que este lo solicita y como la cantidad de fruta no es a gran escala diariamente puede procesar fruta de distintos proveedores, lo que produce la gran pérdida de tiempo que se puede apreciar en la gráfica.

Gráfico 3: Pérdida de tiempo de operación y procesos



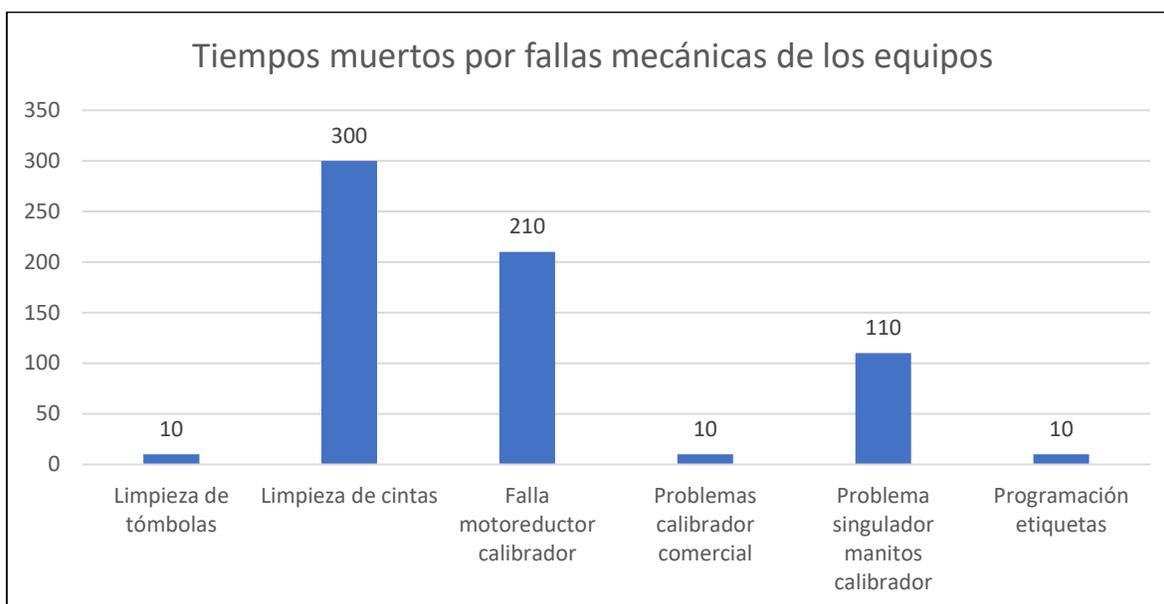
Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

3.1.2 Tiempos muertos por fallas mecánicas

Como se puede apreciar en el Gráfico 4 en relación a los tiempos muertos por fallas mecánicas, la limpieza de las cintas de transporte es la que presenta el tiempo más alto debido a que se realiza esta acción diariamente, si omitimos este ítem, es la falla del moto reductor del mando del calibrador el que posee un tiempo importante. Una característica de este equipo es la complejidad de su funcionamiento, lo que se traduce en un alto tiempo para poder reparar las fallas que pueda presentar.

Si se analiza el tiempo que se asocia a esta falla equivale a un total de 210 minutos, el cual corresponde a una sola falla de un día en lo que va de la temporada de trabajo, lo que asevera lo que se dijo anteriormente, lo que se tardó en reparar la falla fue equivalente al tiempo indicado, que si lo comparamos con las demás fallas, también corresponden a una sola falla pero con un tiempo menor.

Gráfico 4: Pérdida de tiempo por fallas mecánicas

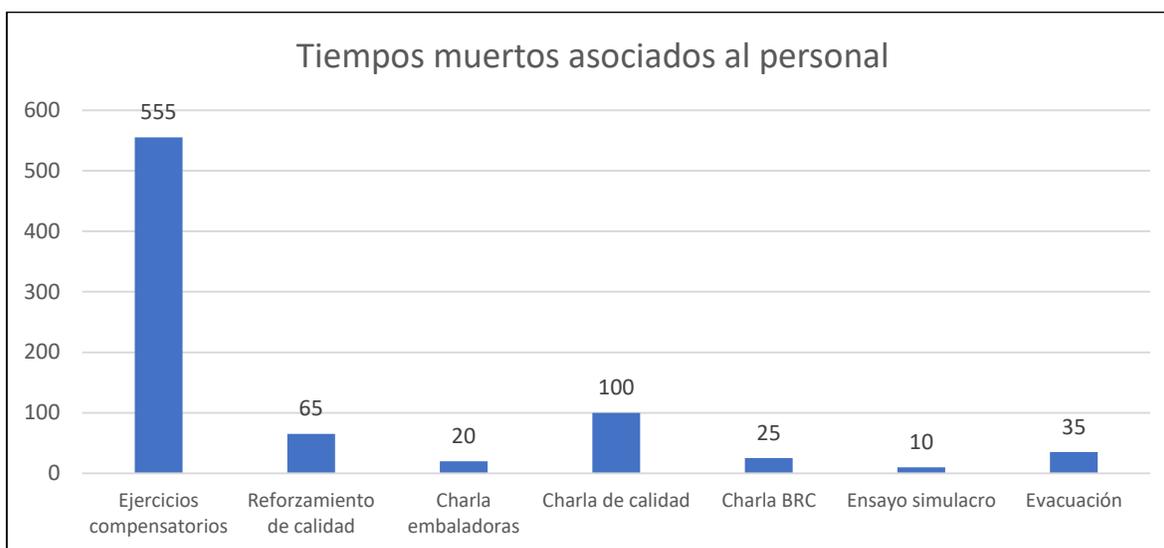


Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

3.1.3 Tiempos muertos asociados al personal

Las charlas e inducciones son importantes en todo proceso productivo ya que gracias a estas el personal puede desempeñarse de mejor manera y conocer las normas que están detrás de los mismos procesos. Además de esto, los ejercicios compensatorios son muy importantes para el personal, como se mencionó anteriormente. Si bien todo lo descrito anteriormente son consideradas como tiempos muertos y su utilizaron para la comparación, se debe destacar que son necesarias e importantes, pero que de igual forma se consideran una pérdida de tiempo, quizá una forma de minimizar este tiempo es realizando estas de una forma más eficiente.

Analizando el Gráfico 5 se puede observar que la mayor fuente de pérdida de tiempo corresponde a los ejercicios compensatorios, lo cual es lo más lógico, ya que se realizan diariamente, le siguen las charlas de calidad, lo que también es evidente pues en un packing de manzanas, y de cualquier fruta la calidad es un factor relevante, ya que las exigencias de los consumidores es muy alta y cualquier problema de calidad son pérdidas para la empresa, por lo cual la única forma de minimizar estos problemas es que el personal conozca las normas y reglas para mantener este ítem al margen.

Gráfico 5: Pérdida de tiempo asociados al personal

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

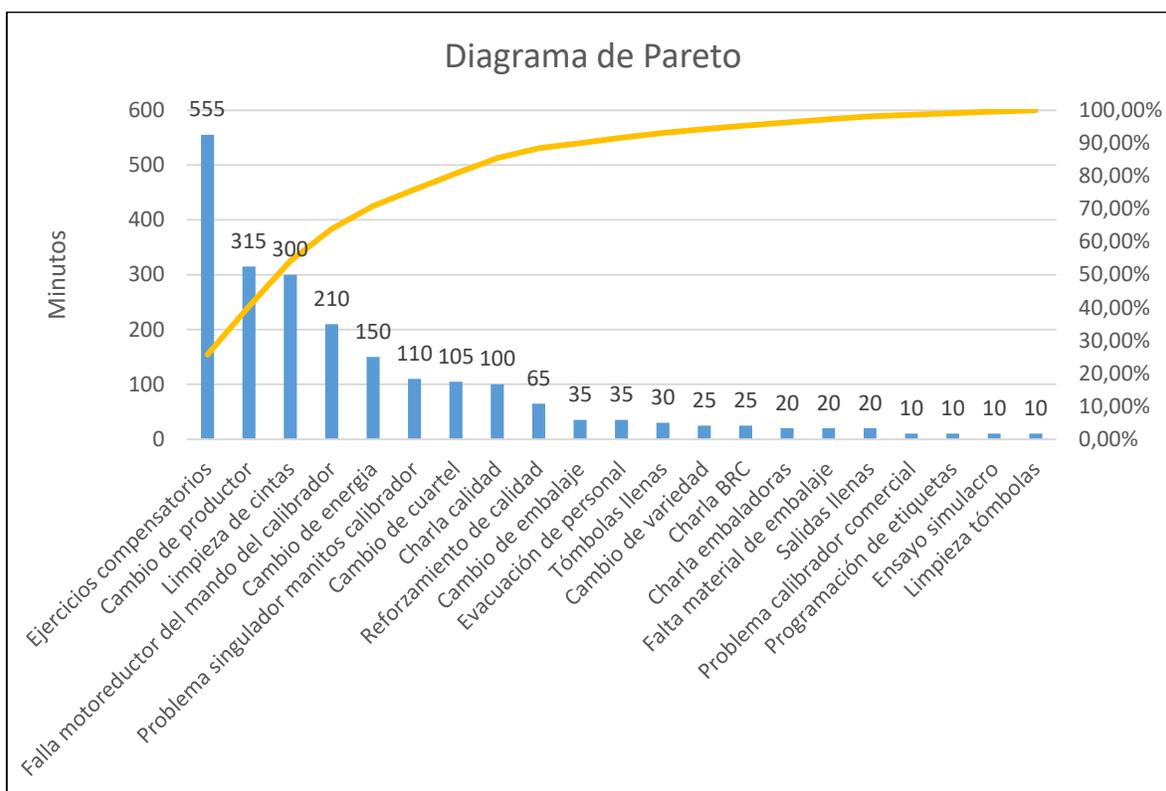
Para tener una idea más clara de todos los ítems anteriores se realiza un diagrama de Pareto para identificar claramente donde se concentran las mayores problemáticas, en el Gráfico 6 se puede visualizar estos resultados, donde el 80% de los tiempos muertos se concentran hasta el ítem cambio de cuartel, que equivale al 33% aproximadamente, es decir, que el 33% de las causas generan el 80% de las problemáticas de los tiempos muertos.

3.2 Ausentismo del personal

El ausentismo laboral es un concepto muy importante a analizar debido a que genera una gran variabilidad en la producción diaria. El ausentismo se puede dar por diferentes situaciones:

- Enfermedades del personal producidas naturalmente.
- Enfermedades físicas generadas por lo repetitivo del trabajo.
- Accidentes laborales que inhabiliten al trabajador.
- Abandono del trabajo debido a la alta oferta de trabajo de este rubro en la zona, ofreciendo mayores incentivos económicos para los trabajadores.
- Abandono del trabajo por problemas personales de los trabajadores.

Gráfico 6: Diagrama de Pareto tiempos muertos



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

- Complejidad para poder llegar a la zona de trabajo, principalmente por falta de locomoción.

En el caso de la empresa FRUTASOL este concepto no es muy relevante puesto que el ausentismo laboral es muy escaso (principalmente en las dos estaciones más importantes como lo son selección y embalaje), el cual se da principalmente por enfermedades naturales del personal y abandono del trabajo por problemas personales de los trabajadores.

El Gráfico 7 muestra la asistencia durante el mes de marzo de la actual temporada en el área de selección. Como se puede apreciar la asistencia se mantiene constante durante el periodo (8 personas), variando en una unidad. Cabe mencionar que la cantidad de personas actualmente trabajando en esta área corresponde a doce.

En relación al ausentismo en la zona de embalaje el escenario no es distinto, se mantiene en un rango estable variando entre 49 a 51 personas, como se puede apreciar en el Gráfico 8, lo que no genera una mayor variación en la producción diaria. Cabe mencionar

que el área de embalaje incluye al personal de *tray pack*, tapadoras y las embaladoras que trabajan en las 4 tómbolas presentes en la línea.

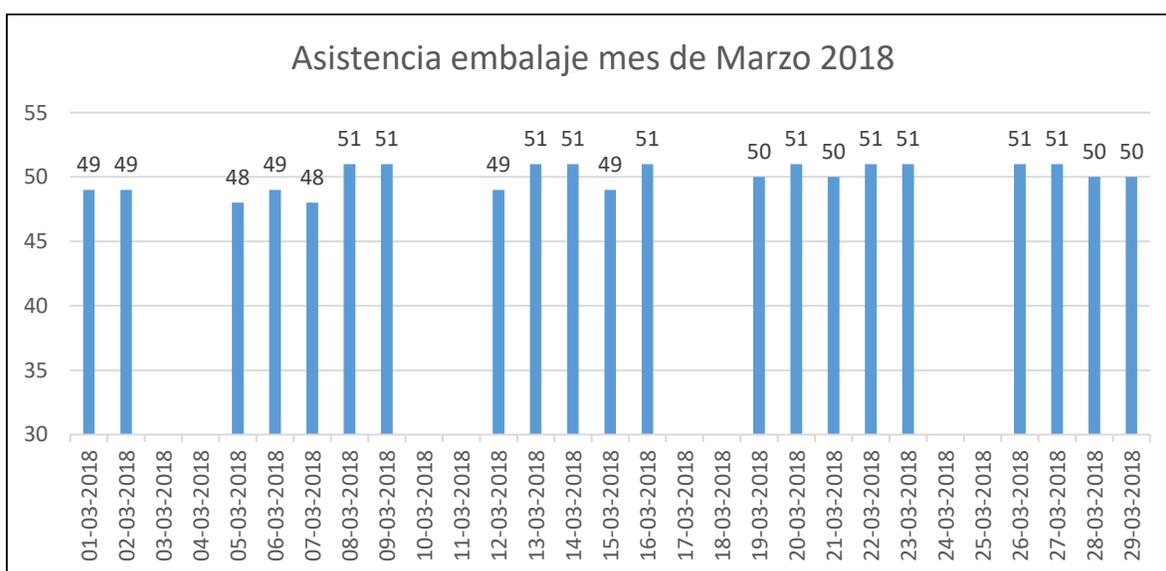
Como se explicó anteriormente el ausentismo se debe principalmente al abandono del trabajo por parte del personal debido principalmente a problemas personales, lo que indica que las personas están conformes con el lugar de trabajo y no desean abandonarlo a menos que ocurran situaciones externas a la empresa.

Gráfico 7: Asistencia personal área selección



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

Gráfico 8: Asistencia personal área de embalaje



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

Es importante mencionar un tema que guarda relación con lo que se explicó anteriormente, que corresponde a los permisos de salida del personal ya sea por tramites, asistencia a médico, entre otras causas. Si bien no genera mayores variabilidades en la producción diaria (proporcionalmente menor al ítem anterior) es importante de nombrar y destacar.

CAPÍTULO 4: RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN

En este capítulo se realiza un análisis estadístico de datos obtenidos durante la temporada 2018 con el fin de utilizarlos en el modelo de simulación. En esta parte se determinan los tiempos y distribuciones de probabilidad de las posibles entradas para el modelo de simulación del packing de manzanas.

4 Recolección y procesamiento de los datos

Para llevar a cabo un modelo de simulación previamente se deben recolectar una gran cantidad de datos y se debe asegurar que dichos datos sean de calidad para que el modelo representa lo mejor posible al sistema real que está siendo objeto de estudio. Es importante saber además que los datos no se pueden utilizar directamente, sino que deben pasar por un procesamiento previo para poder utilizarlos. En los siguientes apartados se detallarán los datos obtenidos para el modelo y los arreglos necesarios para su utilización.

4.1 Datos de entrada del modelo

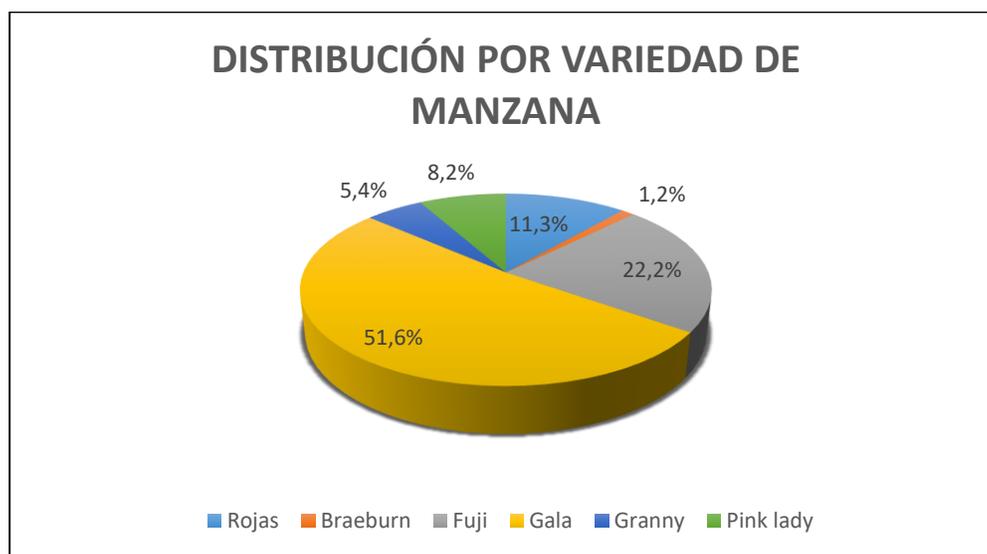
Las entradas del modelo corresponden a los datos que se serán ingresados por el analista, en el caso de FRUTASOL, los datos de entrada pueden ser de los siguientes tipos:

- Variedad de manzanas.
- Tipo de productor a quien pertenece la fruta.
- Distribución de probabilidad de los ingresos de bins a la línea de producción.

4.2 Ingreso de bins por variedad

En el Gráfico 9 es posible apreciar que la variedad que se procesa con mayor frecuencia corresponde a las Galas, dado que es la más abundante en la zona principalmente porque es más resistente al daño que las demás variedades, además su maduración es más rápida y su tiempo de duración post cosecha es mayor. La sigue la Fuji que también su maduración es más rápida. Las demás variedades presentan una menor, que puede ser por la mayor delicadeza de la fruta o porque aún no está a punto para su cosecha. En la Tabla 2 se puede apreciar la información de las diferentes variedades de manzanas.

Gráfico 9: Porcentaje de procesamiento por variedad



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por FRUTASOL

Tabla 2: Registro según variedad

Variedad	Bins vaciados promedio	Kilogramos vaciados promedio	Kilogramos promedio	Porcentaje de fruta comercial
Granny Smith	248	86.304	348	50%
Rojas	204	73.440	360	41%
Fuji	229	84.043	367	34%
Galas	222	84.804	382	19%
Braeburn	167	60.287	361	41%
Cripss Pink	269	91.460	340	23%

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por FRUTASOL

4.3 Ingreso de bins por productor

El gráfico representa el porcentaje de bins que se procesan en función del tipo de productor, los cuales pueden ser de dos tipos, de la misma empresa FRUTASOL o clientes externos, los cuales consisten en pequeños productores de la zona, que proporcionan una pequeña cantidad de fruta, lo que queda reflejado en el Gráfico 10, en la cual la fruta propia de FRUTASOL alcanza el 96% del total que se procesa en la línea contra el 4% de los productores externos. En la Tabla 3 la información con respecto al tipo de productor, es decir, si pertenece a FRUTASOL o es de un productor externo.

Gráfico 10: Porcentaje de procesamiento por productor



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por la empresa FRUTASOL

Tabla 3: Registro según productor

Productor	Bins vaciados promedio	Kilogramos vaciados promedio	Kilogramos promedio	Porcentaje de fruta comercial
FRUTASOL	240	86640	361	32%
Externos	213	75402	354	28%

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por FRUTASOL

Si analizamos en primer lugar el tipo productor, podemos concluir que la mayor cantidad de fruta procesada corresponde a la misma empresa FRUTASOL, por lo cual considerar el tipo de productor como información de entrada no es de mucha utilidad. En segundo lugar, lo más conveniente es utilizar las diferentes variedades de manzanas procesadas, sin embargo diariamente el ingreso de bins al sistema es constante, es decir, se mantiene el mismo intervalo de tiempo de ingreso de los bins, por lo cual se tendrá el mismo tiempo constante y no será posible calcular una distribución representativa, además existe otro problema de lo dispar de la cantidad de datos por variedad.

Por todo lo anteriormente explicado lo más conveniente es utilizar como datos de entrada una distribución que representa a las diferentes variedades de manzanas

4.4 Distribución de probabilidad por ingreso de bins al sistema

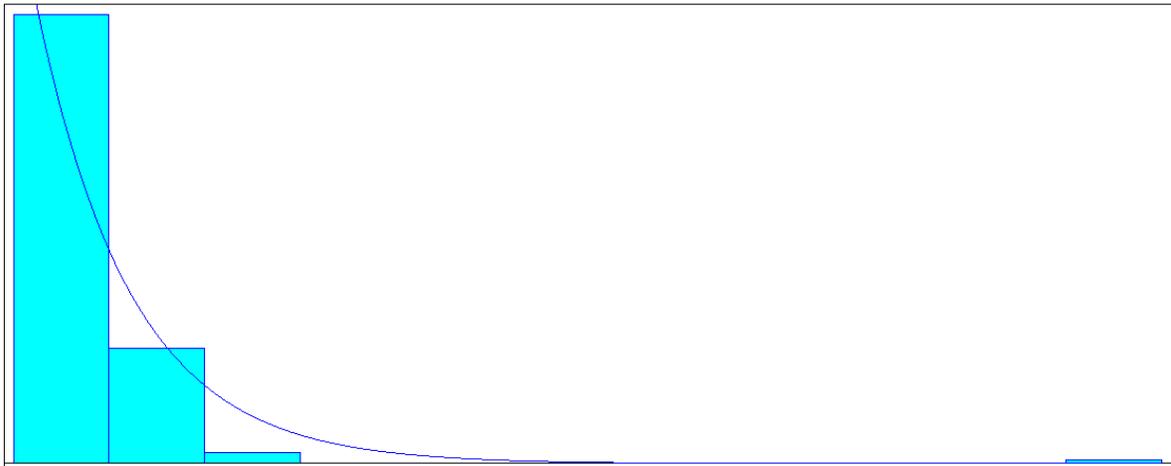
La información obtenida corresponde a los datos de la temporada 2017 y parte de la temporada 2018, ya que de esta forma se cuenta con mayor información además de que ambas temporadas son similares, no debiesen existir mayores alteraciones, ya que como se puede apreciar en el Anexo 21 y en el Anexo 22 ambas temporadas presentan una similar distribución de entrada, la cual corresponde en ambos casos a una distribución Lognormal.

Con esta información se puede determinar que en promedio ingresan 270 bins diarios a la línea uno de producción, dato importante ya que permitirá determinar la tasa de llegada para el modelo de simulación. Otro dato importante es la cantidad de kilogramos promedio que ingresan a producción diariamente, el cual corresponde a 97.200 kilogramos de manzanas, involucrando este promedio las diferentes variedades de manzanas de los distintos productores.

Para determinar la tasa de entrada de los bins diarios se utiliza la función Input Analyzer que proporciona el simulador Arena, utilizando como datos de entrada los bins diarios que ingresaron al proceso durante la temporada 2017 y parte de la temporada 2018.

La forma de calcular el tiempo de arribo de los bins, se realiza de la siguiente manera: como se dijo anteriormente los bins ingresan diariamente con un tiempo constante, por lo cual se tomara un tiempo de arribo de cada uno de los 251 días de los cuales se tiene información. De esta forma se puede obtener una distribución de entrada general para las diferentes variedades de manzanas. En el Gráfico 11 se puede apreciar esta distribución, la cual corresponde a una exponencial con media 2.48 minutos.

Gráfico 11: Distribución ingreso de bins a producción



Fuente: Input Analyzer

4.5 Cantidad de trabajadoras en la línea

El personal presente en la línea de producción se puede dividir en dos grupos generales: seleccionadoras y embaladoras. En el caso de las seleccionadoras, en dicha estación se puede tener un máximo de doce trabajadoras, sin embargo el máximo alcanzado es solo ocho, disminuyendo a siete en algunos días, pero se mantiene constante dicha variación.

En el caso de la zona de embalaje, existen un total promedio de 49 trabajadores, las cuales se dividen en *tray pack* que se encargan de llenar las bandejas con manzanas, las tapadoras cuya función es tomar las bandejas llenadas por las trabajadoras del *tray pack* e introducirlas en cajas para posteriormente cerrar la caja con tapa y finalmente están las trabajadoras de las tómbolas que cada una individualmente debe llenar las bandejas con las manzanas, depositarlas en las cajas y cerrar dicha caja con una tapa. El máximo número de trabajadoras en esta etapa del proceso son de 51, variando en algunos días con un mínimo de 48 trabajadoras.

Como se mencionó en el capítulo anterior la variación es muy poca debido al poco ausentismo, que debe generalmente por enfermedades o en algunas ocasiones por problemas personales, y en pocas ocasiones por abandono del trabajo, ya que en caso de que alguna trabajadora no pueda seguir trabajando, el jefe de packing busca inmediatamente a su reemplazo para mantener la producción constante.

4.6 Minutos de pérdida

Para la realización de un correcto modelo de simulación es necesario determinar los tiempos muertos presentes en el proceso productivo. Según datos entregados por la empresa de la temporada 2017 y parte de la temporada 2018 diariamente se pierden 31 minutos en promedio, ya sea por defectos en las máquinas u operacionales que involucran principalmente los cambios de productores, entre otros.

CAPITULO 5: ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES

En el presente capítulo se muestran las mediciones de tiempo realizadas de los procesos presentes en la línea de manzanas de la empresa FRUTASOL, lo que permitirá determinar los tiempos y distribuciones probabilísticas de los principales procesos presentes como lo son selección, embalaje, entre otros, utilizando herramientas descritas en el marco teórico.

5 Estudio de tiempos de los procesos

El estudio de tiempos de los procesos del área de packing son fundamentales para el modelo de simulación y del estudio. La línea uno del proceso de embalaje se instala en aproximadamente 1.348 metros cuadrados, tomando como largo desde una parte de las piscina de vaciado hasta el final de la línea y como ancho desde las tómbolas hasta toda la zona de paletizaje donde se realizan los procesos descritos en el capítulo uno del proyecto.

Una de las principales características es que la línea posee personal solo en el área de selección, embalaje y palletizaje de las cajas, es decir, son en estas etapas donde el trabajo es manual, el resto de los procesos son automáticos. Es en los procesos manuales donde se hará hincapié en este capítulo.

5.1 Tiempos de operación en el proceso de selección

El proceso de selección se lleva a cabo en tres procesos de la línea, el primero se realiza después de abandonar la piscina de vaseado, que a través de una especie de malla que hace el papel de un tamizado, la fruta más pequeña cae a través de las rendijas de la malla y abandona el proceso. La segunda vez se realiza de forma manual por trabajadores que eliminan la fruta con defectos y finalmente en el proceso de embalaje también se realiza una selección que corresponde a la fruta que no es eliminada en el proceso de selección manual. Los tiempos a medir corresponden al segundo proceso, donde las trabajadoras eliminan la fruta de forma manual.

Describiendo este proceso de manera más detallada, consiste en un procesos que está a continuación del proceso de la fruta de secado en los hornos, aquí la fruta proveniente de dicho proceso se divide en dos líneas, cada una con una división en el centro, dando lugar finalmente a cuatro secciones, en las cuales hay aproximadamente tres personas por cada una de las secciones como máximo, aunque hay algunas veces en que este número varia.

En este proceso de selección, las trabajadoras eliminan la fruta con diferentes defectos como manchas de sol, machucones, daños por aplicación, entre otras. Esta fruta no se considera desecho, pues solo no cumple las condiciones para su exportación pero si aplica

para el mercado nacional. La que si de desecha es aquella fruta que presenta condiciones de pudrición y es un porcentaje muy bajo del total de manzanas que ingresan.

Esta etapa es muy importante pues influye directamente en la eficiencia de la línea, ya que si se realiza un trabajo de calidad la producción será mayor y la calidad final del producto será mejor. Al ser un proceso importante, a esta estación se asigna al personal más rápido y con mayor experiencia en el rubro, ya que la fruta avanza continuamente y deben ser capaces de visualizar la fruta en mal estado.

Como es un proceso que el personal realiza a gran velocidad, ya que utilizan ambas manos para retirar fruta, es muy difícil medir cronométricamente este proceso de manera óptima, por lo cual es necesario utilizar tablas estándares basadas en micromovimientos para realizar una estimación del tiempo que toma realizar esta actividad. Los micromovimientos que se utilizan para el proceso de selección son los siguientes:

- Recorrido visual: la trabajadora recorre visualmente la cinta donde se transporta la fruta para identificar los defectos que puedan traer estas.
- Enfoque visual: la trabajadora mira una manzana con la finalidad de identificar las condiciones de la fruta y determinar su clasificación.
- Alcanzar: la trabajadora mueve su brazo para alcanzar la fruta identificada y retirarla de la cinta transportadora.
- Coger: la trabajadora coge con su mano la manzana para poder posteriormente retirarlo.
- Mover: la trabajadora retira la manzana de la cinta transportadora hacia otra cinta que se dirige hacia el área de fruta comercial, ubicada sobre la cinta principal o hacia unos tamboras que se ubican a un costado de la línea principal los cuales están sobre otra cinta transportadora ubicada debajo de la cinta transportadora principal y que se dirige hacia la zona de desecho de la fruta.

- Soltar: una vez que se alcanza cualquiera de las cintas explicadas anteriormente, la trabajadora suelta la manzana sobre la cinta que se dirige a la zona comercial o dentro de los tambores para que se dirija a la zona de desecho de la fruta.

5.1.1 Cálculo del tiempo operacional del proceso de selección

Con los micromovimientos ya definidos que se presentan en el proceso de selección, ahora es necesario cuantificarlos en TMU, que corresponden a unidades de tiempo utilizadas en las tablas estándares de micromovimientos.

Como el micromovimiento mover puede dirigirse hacia dos partes diferentes, se nombrará mover C a la que se dirige hacia la zona comercial y mover D a la que se dirige hacia la zona de desecho.

En la Tabla 4 se pueden observar los resultados obtenidos para los micromovimientos con sus respectivos TMU, con dichos datos se puede proceder a calcular el tiempo operacional del proceso de selección, tanto para fruta comercial como para la de desecho.

Tabla 4: Datos para el cálculo del TMU para el proceso de selección

Micromovimiento	Código	Distancia horizontal (cm)	Distancia vertical (cm)	Distancia diagonal (cm)	Altura (cm)	TMU	TMU Acumulado
Recorrido visual	ET d/t	55	50	57	-	16,72	16,72
Enfoque visual	EF	55	50	57	-	7,3	24,02
Alcanzar	RdC	20	50	50	-	20,9	44,92
Coger	G1C1	-	-	-	-	7,3	52,22
Mover C	MdB	-	30	35	30	14,5	66,72
Mover D	MdC	-	-	25	-	13,7	80,42
Soltar	RL1	-	-	-	-	2	82,42

Fuente: Elaboración propia

Para el tiempo de operación del proceso de selección de fruta comercial tenemos un TMU total de 68,72. Como se dijo en el capítulo dos, un TMU equivale a 0,036 segundos por lo cual con dicha relación podemos calcular el tiempo, el cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 20: Tiempo de operación para fruta comercial} \\ 68,72 \frac{TMU}{manzana} * 0,036 \frac{segundos}{TMU} = 2,47 \frac{segundos}{manzana}$$

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del tiempo de operación para la fruta de desecho tenemos un TMU total de 67,92 y utilizando la misma relación anterior se procede a calcular dicho tiempo.

$$\text{Ecuación 21: Tiempo de operación para fruta de desecho} \\ 67,92 \frac{TMU}{manzana} * 0,036 \frac{segundos}{TMU} = 2,44 \frac{segundos}{manzana}$$

Fuente: Elaboración propia

Con las ecuaciones anteriores se encuentran los tiempos de operación para el proceso de selección tanto de la fruta comercial como de la fruta de desecho, los cuales se pueden ver resumidos en la Tabla 5.

Tabla 5: Resumen resultados tiempos de operación proceso de selección

Tipo de manzana	Tiempo (seg)	Tiempo (min)
Desecho	2,44	0,0407
Comercial	2,47	0,0412

Fuente: Elaboración propia

5.2 Tiempo de operación en el proceso de embalaje

Este proceso es el que concentra la mayor cantidad de personal en el proceso, aquí se realizan dos actividades principales que son la del embalaje de frutas en bandejas y la selección de fruta.

El embalaje de fruta puede ser de dos tipos: *tray pack* y tómbolas, el *tray pack* consiste en que las embaladoras depositan las manzanas en bandejas de diferentes capacidades, posteriormente las tapadoras toman dichas bandejas con frutas y las depositan en las cajas asignadas, las cuales pueden tener diferente capacidades de bandejas, luego las mismas tapadoras cierran la caja y la depositan en la línea de rodillos para que se dirija a la zona de embalaje.

En el caso de las tómbolas, la diferencia es que una sola trabajadora realiza el proceso completo, en este caso el llenado es diferente puesto que en primer lugar ingresa una bandeja

vacía a la caja y luego la llena con manzanas, luego toma otra bandeja y la pone sobre la primera ya llena de manzanas y así sucesivamente hasta en llenar completamente la caja, para luego cerrarla con una tapa.

Una característica del *tray pack* es que la fruta llega principalmente de un solo calibre, ya que el sistema de la línea permite automáticamente asignar a cada *tray pack* una fruta específica. No ocurre lo mismo con las tómbolas, pues aquí la fruta solo cae a estas de manera aleatoria y no clasificada por calibre, por lo cual el proceso de llenado es más lento.

5.2.1 Tiempos de operación en el proceso de embalaje tray pack

Como se mencionó en el punto anterior el *tray pack* consiste en dos operaciones principales: llenado de bandejas en el cual las manzanas son depositadas en los espacios que poseen las bandejas, las cuales pueden tener diferentes capacidades dependiendo del calibre de la manzana. La segunda operación es el llenado de las cajas con las bandejas, dichas cajas también poseen diferentes capacidades.

Algo importante de indicar antes de calcular las distribuciones de los proceso de embalaje es que se utiliza una fórmula para calcular el tamaño de la muestra, que necesita que los datos distribuyan normal. Para este punto se va a suponer que son normales para omitir pruebas de normalidad para los datos

✓ Llenado de bandejas

Para poder calcular el tiempo de llenado de bandejas en primera instancia se toma una muestra preliminar de 30 datos por cada variedad de manzana. Es importante destacar que dentro de este muestreo de datos están considerados los diferentes calibres presentes en las manzanas, y se tomara la distribución del llenado de bandejas solo por variedad como se explicó anteriormente.

Para la manzana variedad Gala, en el Anexo 7 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que corresponden a los tiempos en minutos que demoran las embaladoras en llenar las diferentes variedades de bandejas. Con estos datos se procede a calcular la cantidad real de tiempos que se necesitan para el modelo.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 22: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 23: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (11,34)^2} = 2,1$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de bandejas.

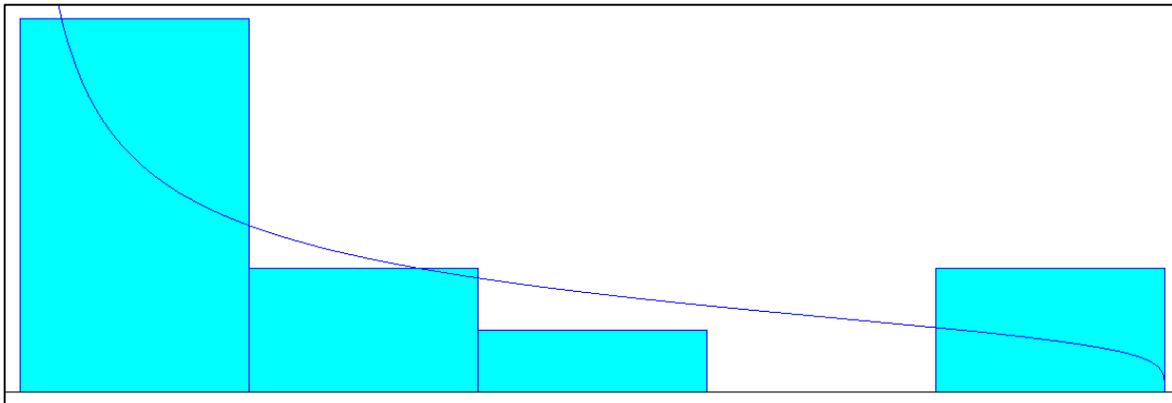
Ecuación 24: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 2,1}{1,25} \right)^2 \sim 11$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 1,25 minutos, se necesitan 11 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea, con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de bandejas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 12 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $0.6+1.6*BETA$ (0.544, 1.23).

Gráfico 12: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Gala



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Fuji, en el Anexo 8 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que corresponden a los tiempos en minutos que demoran las embaladoras en llenar las diferentes variedades de bandejas. Con estos datos se procede a calcular la cantidad real de tiempos que se necesitan para el modelo.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 25: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 26: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (12,15)^2} = 2,26$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de bandejas.

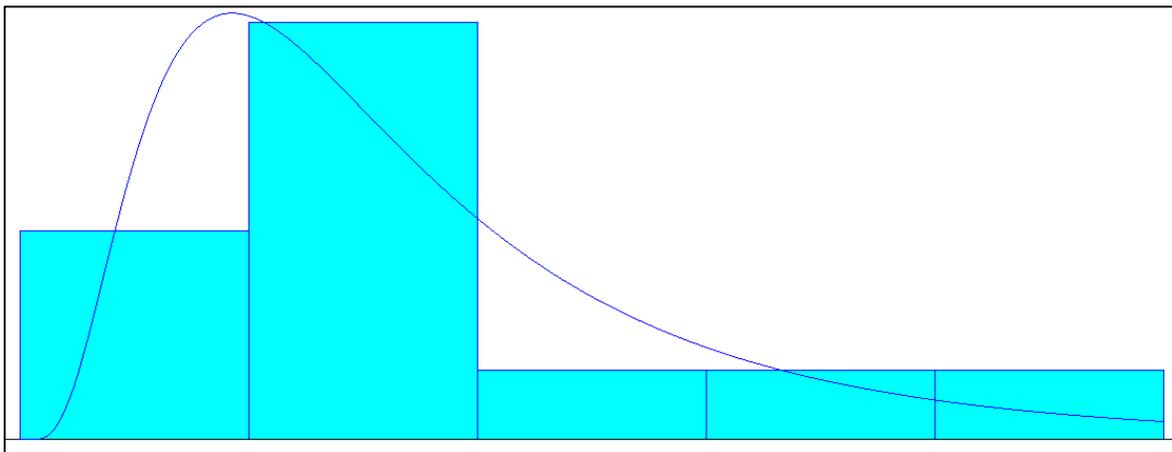
Ecuación 27: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 2,26}{1,3} \right)^2 \sim 12$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 1,3 minutos, se necesitan 12 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea, con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de bandejas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 13 se puede observar que la distribución corresponde a una Log normal de expresión $0.37 + \text{LOGNORMAL}(0.809, 0.611)$.

Gráfico 13: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Fuji



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Granny Smith, en el Anexo 9 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que corresponden a los tiempos en minutos que demoran las embaladoras en llenar las diferentes variedades de bandejas. Con estos datos se procede a calcular la cantidad real de tiempos que se necesitan para el modelo.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 28: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 29: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (14,18)^2} = 2,63$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de bandejas.

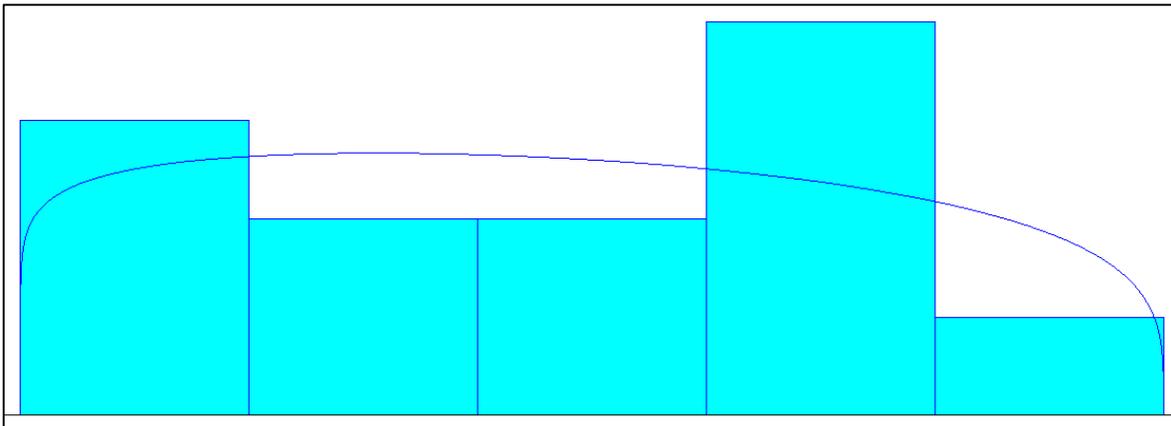
Ecuación 30: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 2,63}{1,55} \right)^2 \sim 12$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 1,55 minutos, se necesitan 12 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea, con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de bandejas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 14 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $0.54+2.03*BETA(1.11, 1.25)$.

Gráfico 14: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Granny Smith



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad *Cripps Pink*, en el Anexo 10 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que corresponden a los tiempos en minutos que demoran las embaladoras en llenar las diferentes variedades de bandejas. Con estos datos se procede a calcular la cantidad real de tiempos que se necesitan para el modelo.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 31: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 32: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (11,92)^2} = 2,21$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de bandejas.

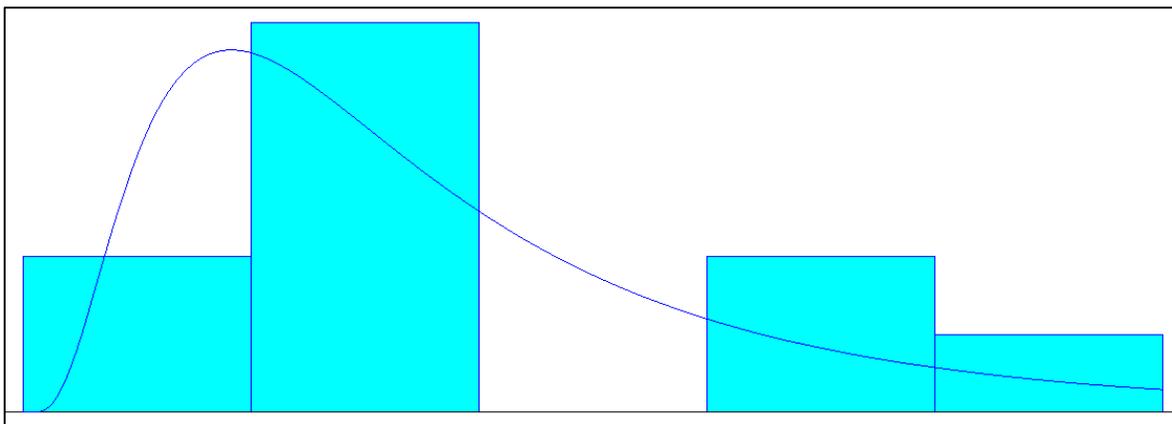
Ecuación 33: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 2,21}{1,4} \right)^2 \sim 10$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 1,4 minutos, se necesitan 10 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea, con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de bandejas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 15 se puede observar que la distribución corresponde a una Lognormal de expresión $0.76+ \text{LOGNORMAL}(0.58, 0.48)$.

Gráfico 15: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad *Cripps Pink*



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Roja, en el Anexo 11 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que corresponden a los tiempos en minutos que demoran las embaladoras en llenar las diferentes variedades de bandejas. Con estos datos se procede a calcular la cantidad real de tiempos que se necesitan para el modelo.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 34: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 35: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30 - 1} * (15,26)^2} = 2,83$$

Fuente: *Elaboración propia en base a (Ross, 1997)*

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de bandejas.

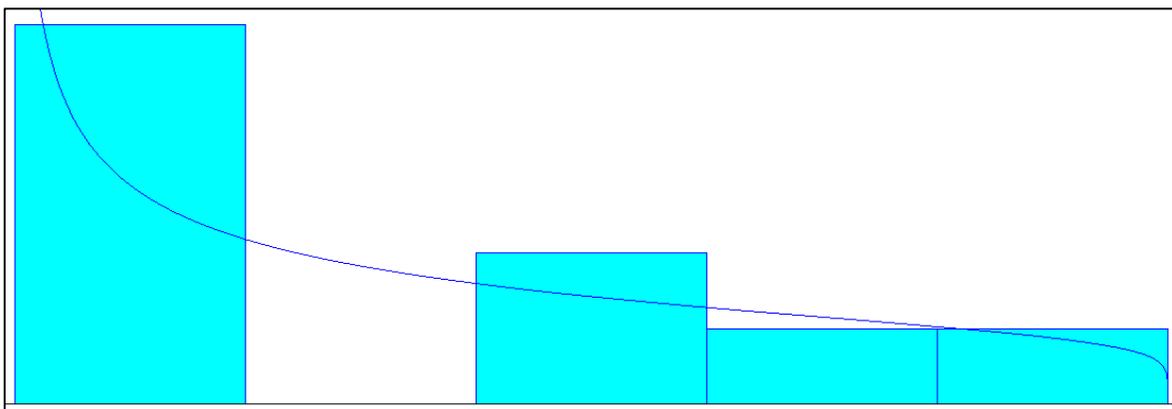
Ecuación 36: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 2,83}{1,9} \right)^2 \sim 9$$

Fuente: *Elaboración propia en base a (Ross, 1997)*

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 1,9 minutos, se necesitan 9 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea, con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de bandejas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 16 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $1+2.31*BETA$ (0.618 ,1.16).

Gráfico 16: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad Roja



Fuente: *Input Analyzer*

Para la manzana variedad *Braeburn*, en el Anexo 12 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que corresponden a los tiempos en minutos que demoran las embaladoras en

llenar las diferentes variedades de bandejas. Con estos datos se procede a calcular la cantidad real de tiempos que se necesitan para el modelo.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 37: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 38: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (10,45)^2} = 1,94$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de bandejas.

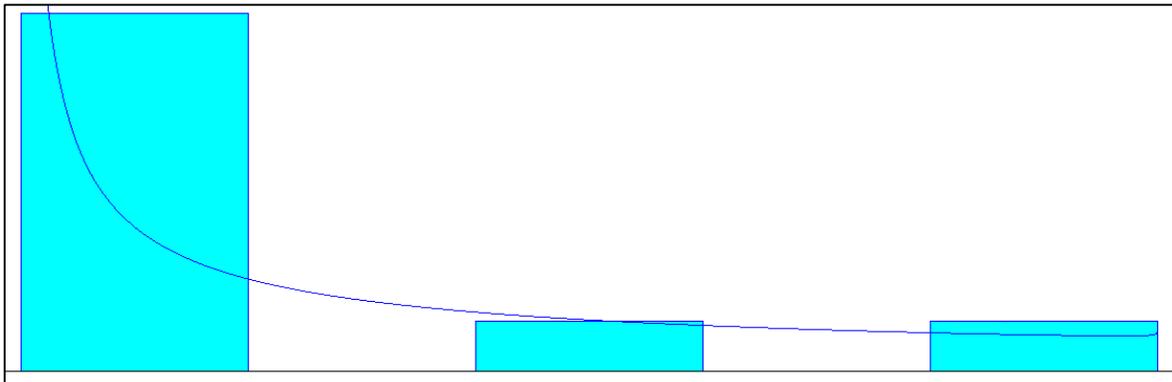
Ecuación 39: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 1,94}{1,28} \right)^2 \sim 9$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 1,28 minutos, se necesitan 9 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea, con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de bandejas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 17 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $0.72+1.89*BETA$ (0.354, 0.978).

Gráfico 17: Distribución del tiempo de llenado de bandejas variedad *Braeburn*



Fuente: Input Analyzer

✓ Llenado de cajas con bandejas

Una vez que las embaladoras llenan las bandejas con las manzanas, es el turno de las tapadoras de realizar su trabajo. Su trabajo consiste en tomar las bandejas con las frutas e introducirlas en las cajas, que dependiendo del cliente o tipo de manzana la caja puede llevar diferentes elementos.

Una vez que las tapadoras introducen las bandejas en las cajas deben posteriormente cubrir la caja lista con una tapa (de ahí su nombre) para que a la fruta no le ingresen basuras y para que al manipularla no se caigan de la caja.

Este proceso de llenado corresponde a un tiempo corto y constante para cualquier estrato, aunque se explicó anteriormente que algunas llevan más elementos que otras, es un tiempo relativamente pequeño que no debiese influir en mayor medida en la simulación, razón por la cual se tomará un tiempo constante en el proceso de llenado de cajas con las bandejas y su posterior cierre con las tapas.

Esta operación se describirá y se calculará su tiempo utilizando los micromovimientos, los cuales se presentan en la Tabla 6. Para el tiempo de operación de esta actividad tenemos un TMU total de 423,6. Como se dijo en el capítulo dos, un TMU equivale a 0,036 segundos por lo cual con dicha relación podemos calcular el tiempo, el cual se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 40: Tiempo de operación para fruta comercial

$$423,6 \frac{TMU}{caja} * 0,036 \frac{segundos}{TMU} = 15,4 \frac{segundos}{caja}$$

Fuente: Elaboración propia

Este tiempo constante no considera los tiempos que demoran en colocar los papales que muchas veces llevan las cajas o las bolsas que en ciertas ocasiones se solicitan, para este caso se tomó cronométricamente este tiempo y se concluyó que el tiempo aproximado de estas actividades es de 5 segundos, lo que sumado al tiempo calculado anteriormente se determina que el total de la actividad de llenado de cajas con bandejas más el tapado de las mismas cajas es de 20,2 segundos.

Otra opción es determinar una distribución que refleje los tiempos de operación de esta actividad. En el Anexo 13 se puede observar el muestreo preliminar de 30 datos que permitirán determinar la cantidad de datos reales para encontrar la distribución del proceso.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 41: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 42: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (1,71)^2} = 0,32$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Tabla 6: Movimientos característicos de las tapadoras con sus respectivos tiempos en TMU

Micromovimiento	Código	Distancia horizontal (cm)	Distancia vertical (cm)	Distancia diagonal (cm)	TMU	TMU Total	TMU Acumulado
Alcanzar caja	RdB	-	50	55	19,8	19,8	19,8
Coger caja	G4A	-	-	-	7,3	7,3	27,1
Mover caja	MdB	-	50	55	19,2	19,2	46,3
Soltar caja	RL1	-	-	-	2	2	48,3
Alcanzar bandejas	RdA	-	40	-	11,3	11,3	59,6
Coger bandejas (x2)	G3	-	-	-	5,6	11,2	70,8
Mover bandejas (x2)	MdC	20	40	53	23,5	47	117,8
Encajar bandejas (x2)	P3NS	-	-	-	53,4	106,8	224,6
Soltar bandejas (x2)	RL1	-	-	-	2	4	228,6
Alcanzar tapa	RdB	-	50	55	19,8	19,8	248,4
Coger tapa	G4A	-	-	-	7,3	7,3	255,7
Mover tapa	MdB	-	50	55	19,2	19,2	274,9
Encajar tapa	P3NS	-	-	-	53,4	53,4	328,3
Soltar tapa	RL1	-	-	-	2	2	330,3
Coger caja	G3	-	-	-	5,6	5,6	335,9
Mover caja	MdC	-	40	-	18,5	18,5	354,4
Soltar caja	RL1	-	-	-	2	2	356,4
Girar el cuerpo (ida)	TBC1	-	-	-	18,6	18,6	375
Girar el cuerpo (vuelta)	TBC1	-	-	-	18,6	18,6	393,6
Andar 2 a 3 pasos (ida)	WpP	-	-	-	15	15	408,6
Andar 2 a 3 pasos (vuelta)	WpP	-	-	-	15	15	423,6

Fuente: Elaboración propia

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas con bandejas y tapado de cajas.

Ecuación 43: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 0,32}{0,4} \right)^2 \sim 3$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 0,4 minutos, se necesitan 3 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Como son una pequeña cantidad de datos demuestra que es un tiempo constante, el cual se tomara como el que se calculó anteriormente.

✓ **Llenado de cajas en tómbolas**

Como se explicó anteriormente la línea de producción cuenta con dos formas de embalar la fruta: *tray pack* y a través de las tómbolas. En estas últimas las trabajadoras tienen que hacer todo el proceso ellas mismas, ya que la salida las tómbolas no cuenta con las condiciones de espacio para que exista otra trabajadora que llene y tape las cajas como en el *tray pack*, por lo cual el tiempo de este proceso es el más extenso de todo el proceso de embalaje.

Para poder calcular la distribución de los tiempos de llenado de cajas se toma una muestra inicial de 30 datos por cada variedad de manzana, necesarios para poder calcular la cantidad real de datos representativos que se deben utilizar para encontrar la distribución.

Para la manzana variedad Gala se toma la muestra inicial de 30 datos que se pueden apreciar en el Anexo 14, con esta información se procede a calcular el tamaño de la muestra necesario para determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 44: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 45: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (23,67)^2} = 4,4$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas.

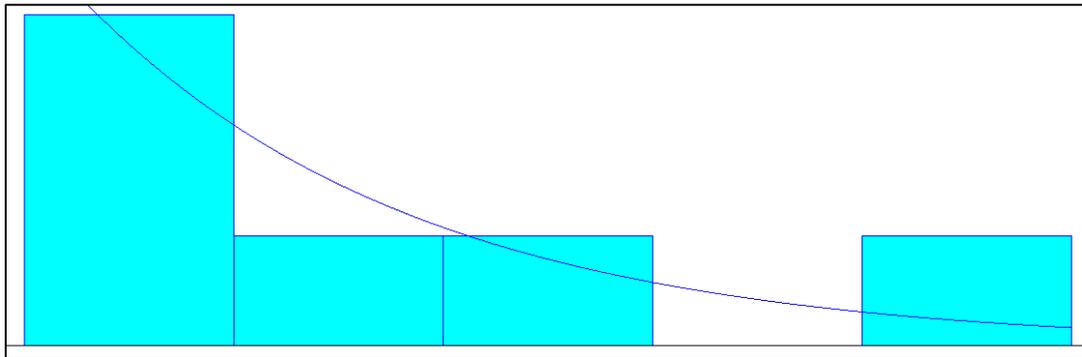
Ecuación 46: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 4,4}{3,6} \right)^2 \sim 6$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 3,6 minutos, se necesitan 6 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 18 se puede observar que la distribución corresponde a una Exponencial de expresión 2+EXPONENCIAL (0.964).

Gráfico 18: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Gala



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Fuji se toma la muestra inicial de 30 datos que se pueden apreciar en el Anexo 15, con esta información se procede a calcular el tamaño de la muestra necesario para determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 47: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 48: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (22,34)^2} = 4,15$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas.

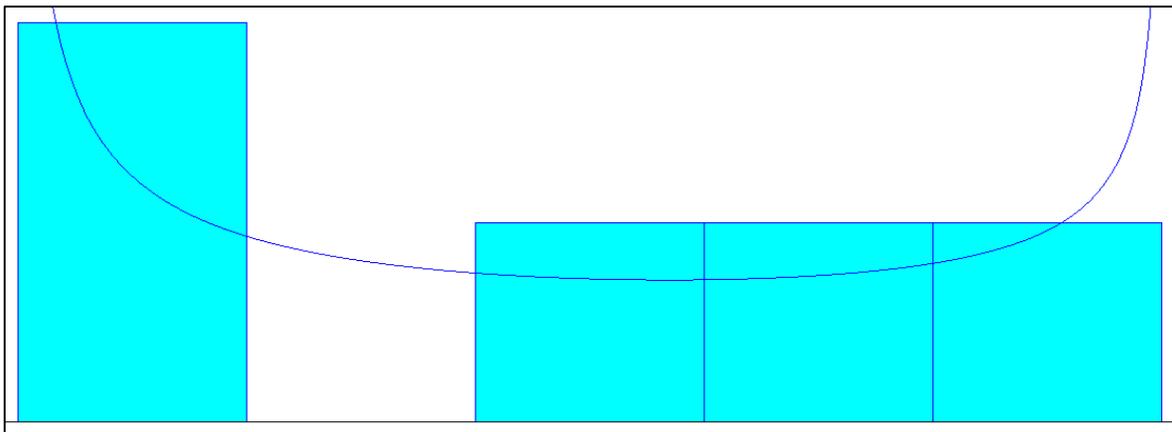
Ecuación 49: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 4,15}{3,7} \right)^2 \sim 5$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 3,7 minutos, se necesitan cinco datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 19 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $2.28+1.95*BETA$ (0.537, 0.651).

Gráfico 19: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Fuji



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Granny Smith se toma la muestra inicial de 30 datos que se pueden apreciar en el Anexo 16, con esta información se procede a calcular el tamaño de la muestra necesario para determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 50: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 51: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30 - 1} * (24,13)^2} = 4,48$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas.

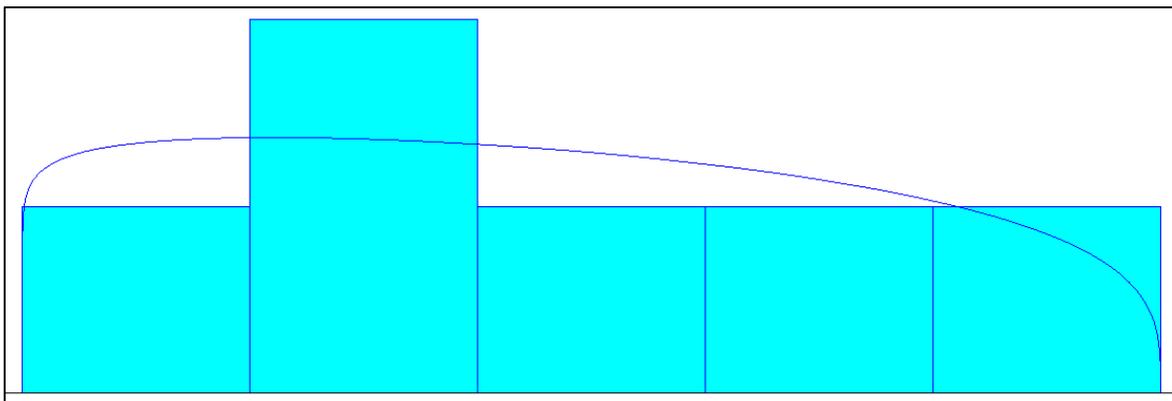
Ecuación 52: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 4,48}{3,8} \right)^2 \sim 6$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 3,8 minutos, se necesitan 6 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 20 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $1.61+3.03*Beta(1.08, 1.29)$.

Gráfico 20: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Granny Smith



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Cripps Pink se toma la muestra inicial de 30 datos que se pueden apreciar en el Anexo 17, con esta información se procede a calcular el tamaño de la muestra

necesario para determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 53: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 54: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (20,27)^2} = 3,76$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas.

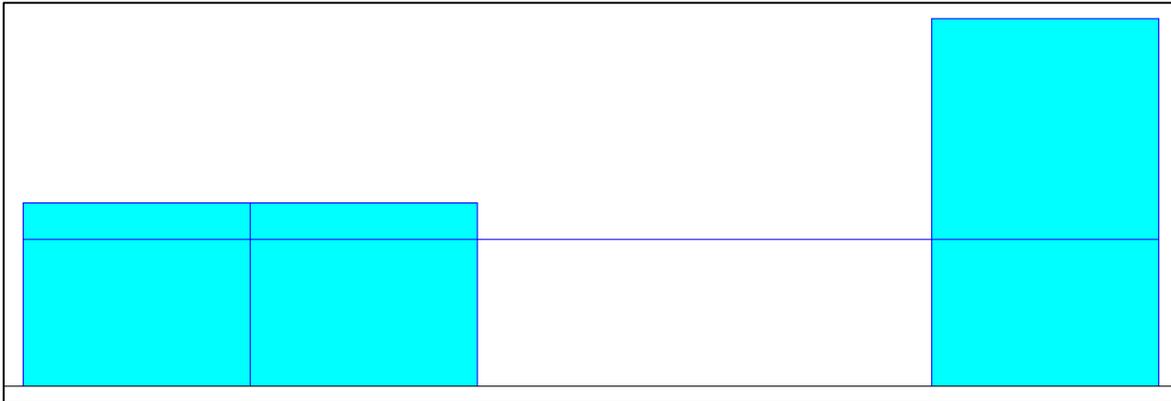
Ecuación 55: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 3,76}{4,4} \right)^2 \sim 4$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 4,4 minutos, se necesitan 4 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 21 se puede observar que la distribución corresponde a una Uniforme de expresión UNIFORME (2, 4).

Gráfico 21: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Cripps Pink



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Roja se toma la muestra inicial de 30 datos que se pueden apreciar en el Anexo 18, con esta información se procede a calcular el tamaño de la muestra necesario para determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 56: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 57: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30-1} * (27,72)^2} = 5,15$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas.

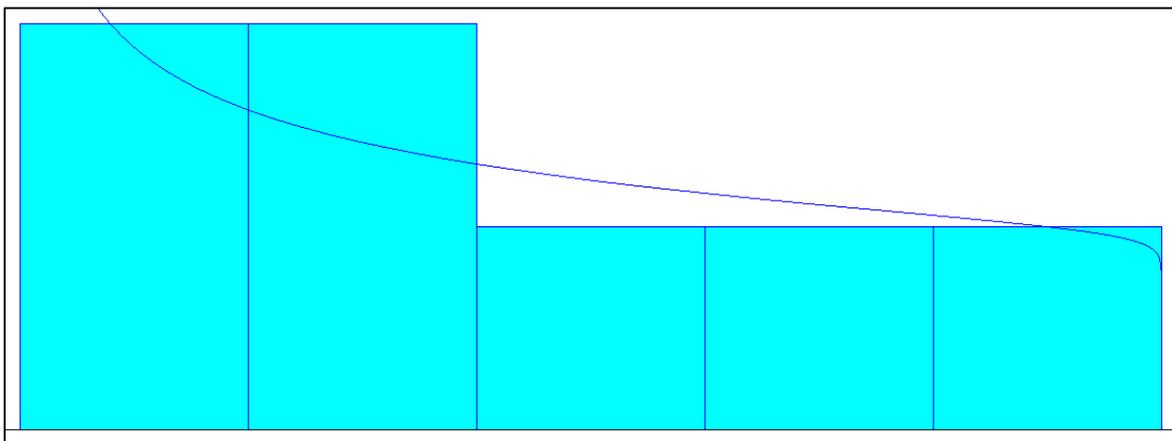
Ecuación 58: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 5,15}{4} \right)^2 \sim 7$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 4 minutos, se necesitan 7 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 22 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $2.12+3.88*BETA (0.794, 1.04)$.

Gráfico 22: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Roja



Fuente: Input Analyzer

Para la manzana variedad Braeburn se toma la muestra inicial de 30 datos que se pueden apreciar en el Anexo 19, con esta información se procede a calcular el tamaño de la muestra necesario para determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad.

Se utiliza la Ecuación 4, pero es necesario que se calcule previamente la desviación estándar muestral, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 59: Fórmula para el cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Donde n corresponde al tamaño de la muestra que para este caso corresponde a 30 datos, x_i corresponde a cada uno de los datos y \bar{x} al promedio de dichos datos. Una vez con toda la información se procede a calcular.

Ecuación 60: Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{30 - 1} * (23,1)^2} = 4,29$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

Con este resultado se está en condiciones de calcular el valor n que corresponde a la cantidad necesaria de datos que se necesitan para calcular el tiempo de llenado de cajas.

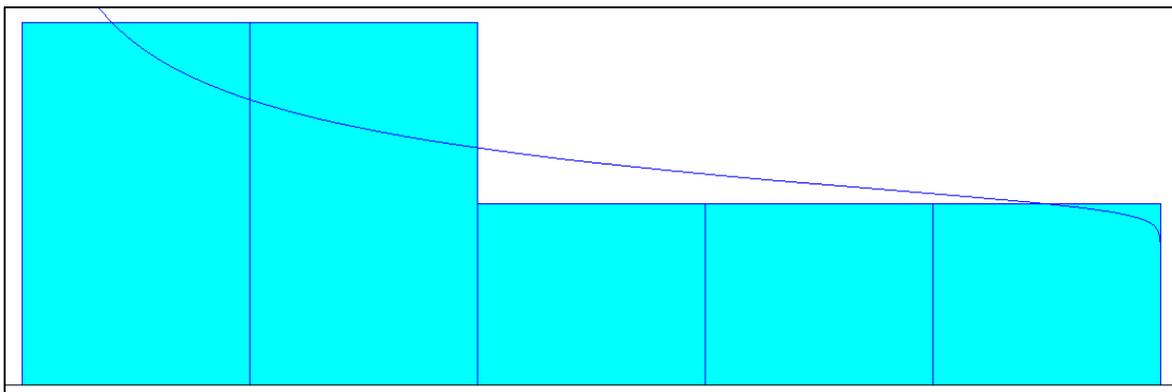
Ecuación 61: Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{1,96 * 4,29}{3,9} \right)^2 \sim 5$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El resultado de la ecuación anterior arroja que con un nivel de confianza del 95% (que equivale al valor 1,96) y con un error máximo de tiempo del 10% del promedio que equivale a 3,9 minutos, se necesitan 5 datos de tiempo para poder encontrar el valor que se desea. Con estos datos se procede a determinar la distribución que corresponde al llenado de cajas para esta variedad de manzana. En el Gráfico 23 se puede observar que la distribución corresponde a una Beta de expresión $2.12+3.88*BETA$ (0.749, 1.04).

Gráfico 23: Distribución del tiempo de llenado de cajas en tómbolas variedad Braeburn



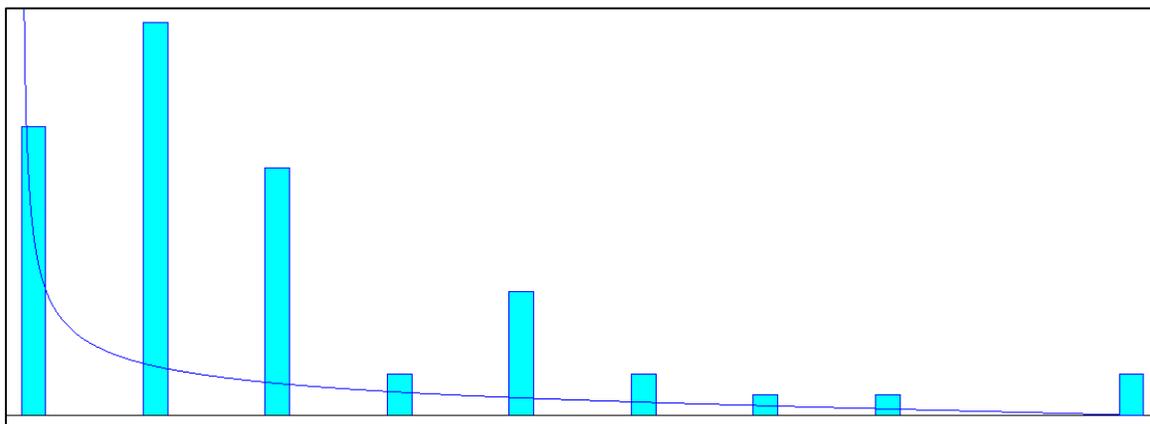
Fuente: Input Analyzer

5.3 Tiempos muertos en el proceso

Los tiempos muertos del proceso también se pueden expresar en función de una distribución de probabilidad. Se obtienen datos de los tiempos de no producción dentro de la jornada laboral sin considerar los tiempos de detención por colación y almuerzo, los que corresponden a la actual temporada.

Para hacer más real el sistema se dividirán los tiempos muertos en tres partes que representan la mayor pérdida de minutos de producción. El primero corresponde al inicio que hace referencia a los tiempos de cambio de productor y variedad, los minutos diarios (que corresponden a 59 días) se traspasan al programa *Input Analyzer* para determinar la distribución que más se acomoda a esta información. En el Gráfico 24 se puede apreciar dicha distribución la cual representa una Beta de expresión $-0.5+46*BETA$ (0.503,1.77).

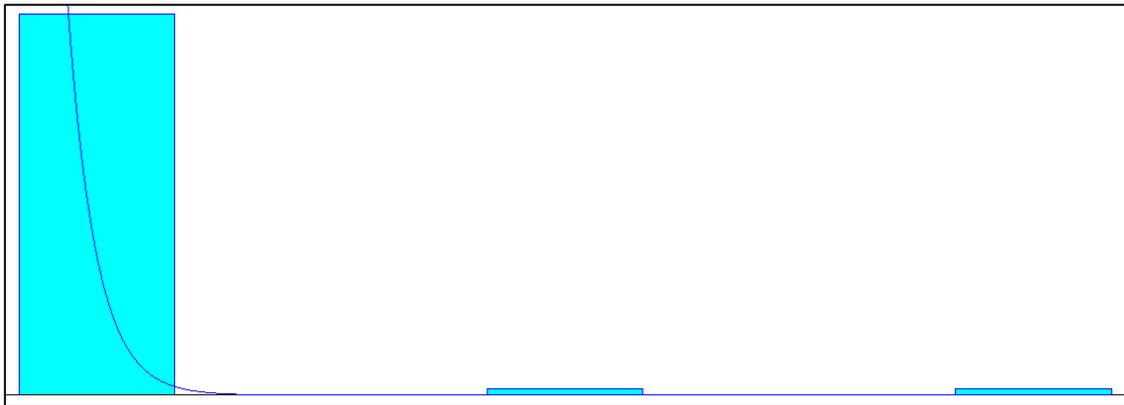
Gráfico 24: Distribución tiempos muertos inicio del proceso



Fuente: *Input Analyzer*

El segundo caso corresponde al tiempo perdido por falla del calibrador, con esto datos de la temporada, que corresponden a 59 días de trabajo de la temporada actual, y con el programa *Input Analyzer* se ingresan estos tiempos de falla y se obtiene una distribución, la cual corresponde a una Exponencial cuya expresión es $-0.001+EXPONENCIAL$ (5.42). En el Gráfico 25 es posible apreciar esta distribución.

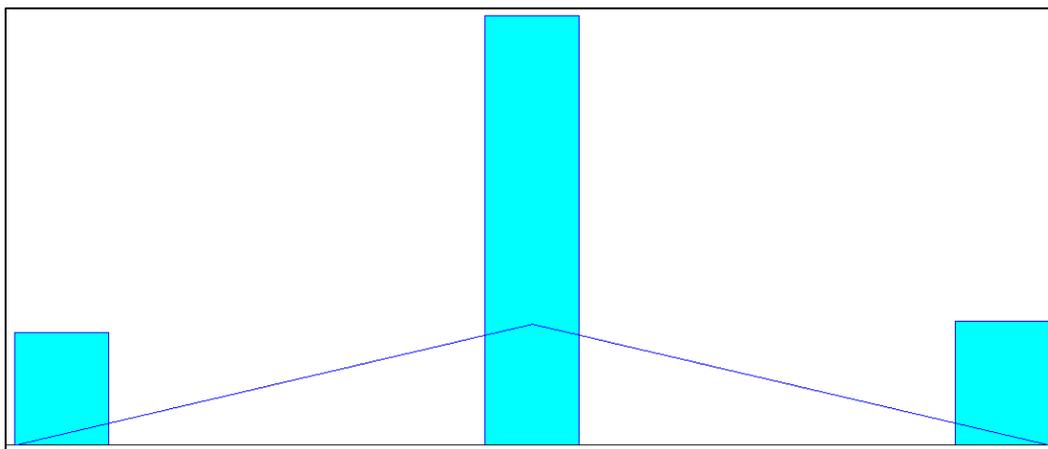
Gráfico 25: Distribución tiempos muertos falla del calibrador



Fuente: *Input Analyzer*

El último caso hace referencia al tiempo de producción perdido debido al personal de embalaje lo que abarca ejercicios compensatorios, limpieza de la zona de trabajo, principalmente. Con estos tiempos obtenidos de la temporada actual que equivalen a 59 días de trabajo, se utiliza el programa *Input Analyzer* para determinar la distribución que más se acomoda a estos tiempos, la cual arroja una triangular de expresión TRIANGULAR (9.5, 15, 20.5). En el Gráfico 26 es posible apreciar esta distribución.

Gráfico 26: Distribución tiempos muertos personal de embalaje



Fuente: *Input Analyzer*

CAPITULO 6: PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS PARA EL MODELO

En este capítulo se realiza la colección de variables y parámetros que son una parte importante para el modelo de simulación, principalmente se encontraran las dimensiones de la línea, la velocidad a la que funciona regularmente y su velocidad nominal, y principalmente las capacidades de los equipos presentes, tanto reales como nominales, además se entrega información de la clasificación que se le realiza a fruta.

6 Parámetros complementarios para el modelo de simulación

En el capítulo anterior se detallaron los parámetros operacionales que se obtuvieron como resultado de mediciones de tiempo en el proceso de packing. Sin embargo, el modelo de simulación además necesita de otros parámetros que se obtienen directamente y que no son necesarios de procesar, entre los cuales se encuentran capacidades de máquinas, dimensiones, cantidad de trabajadores, calidad de la fruta, entre otros.

6.1 Velocidad de la línea

La línea de producción consta de dos partes ya que son dos proveedores distintos, desde vaciado hasta selección la empresa Durand-Wayland es la que proporciona esta parte de la línea, y desde calibrado hasta embalaje pertenece a la empresa Maf Roda.

Se realiza esta diferenciación ya que la primera sección de la línea es más antigua y funciona a través de velocímetros manuales que se ubican a los costados de las máquinas para variar su velocidad. Caso contrario de la segunda sección de la línea funciona a través de una computadora que se ubica en una caseta, y desde ahí se pueden realizar las variaciones de velocidad.

La velocidad de la línea cambia dependiendo del tipo de manzana que se está procesando, sin embargo son variaciones pequeñas, por lo cual se tomará un tiempo estándar de velocidad que no debiese afectar al resultado final de la simulación.

En la Tabla 7 se presentan las velocidades del funcionamiento de la línea completa, las cuales son velocidades reales estimadas que la empresa no cuenta con dicha información, principalmente en la primera sección de la línea que son máquinas más antiguas, y para determinar las velocidades nominales se realiza una proporción en función de la máxima cantidad de bins que se pueden procesar en la línea.

Tabla 7: Velocidades de la línea

Proceso	Equipo	Capacidad nominal aproximada	Capacidad real aproximada
Vaciado	Riel cadena	50 bins/hora	30-35 bins por hora
Pre-selección	Polines	13 metros por minuto	9,18 metros por minuto
Lavado	Cepillos	13 metros por minuto	9,18 metros por minuto
Secado	Cepillos	13 metros por minuto	9,18 metros por minuto
Encerado y/o aplicación	Cepillos	13 metros por minuto	9,18 metros por minuto
Túnel de secado	Cepillos	13 metros por minuto	9,18 metros por minuto
Selección	Cinta de entrada	15-17 metros por minuto	10-12 metros por minuto
Selección	Polines	11 metros por minuto	8 metros por minuto
Selección	Cinta de salida	15-17 metros por minuto	10-12 metros por minuto
Selección	Cinta comercial	13 metros por minuto	9 metros por minuto
Selección	Cinta desecho	13 metros por minuto	9 metros por minuto
Calibrador	Manitos riel	58 metros por minuto	40,8 metros por minuto
Embalaje	Riel de cajas	12 metros por minuto	8,5 metros por minuto
Embalaje	Cinta comercial	13 metros por minuto	9 metros por minuto
Embalaje	Cinta tómbola	20 metros por minuto	14 metros por minuto
Comercial	Capachos riel	50 metros por minuto	35 metros por minuto

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de FRUTASOL

6.2 Capacidad de los equipos

La capacidad a los equipos que hace referencia corresponden a los de calibrado, túnel de secado, etiquetadora PLU, selladora de cajas y cinta comercial. La información de los equipos se obtuvo gracias a datos entregados por el jefe de mantenimiento de la empresa y a estimaciones realizadas en la línea de producción. En la Tabla 8 se pueden observar las capacidades de los equipos.

Tabla 8: Capacidad de los equipos

Proceso	Equipo	Capacidad nominal aproximada	Capacidad real aproximada
Secado	Túnel de secado	50 bins/hora	30-35 bins por hora
Calibraje	calibrador	900 manzanas por minuto	540-600 manzanas por minuto
Calibraje	Etiquetadora PLU	900 manzanas por minuto	540-600 manzanas por minuto
Embalaje	Sellador de cajas	30 cajas por minuto	30 cajas por minuto
Comercial	Cinta capachos	850 manzanas por minuto	500 manzanas por minuto

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de packing

6.3 Cantidad de trabajadores en la línea por estación

La mano de obra se distribuye en tres procesos: selección, embalaje y paletizado. Cabe mencionar que la información que se presenta a continuación corresponde a la distribución actual de la planilla de trabajadores, además es importante de destacar que este número puede variar a diario, pero que por lo general se mantiene constante con los trabajadores por proceso, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9: Número de trabajadores por proceso

Proceso	Descripción	Número de personas
Selección	Selección	12
Embalaje	Tray pack	33
Embalaje	Tómbolas	12
Embalaje	Tapadoras	7
Paletizaje	Paletizaje	3

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la oficina de packing

Esta información se obtiene de las planillas de trabajadores de la oficina de packing, como se puede apreciar en la Tabla 9, selección posee doce trabajadoras, que correspondería a la máxima capacidad que puede albergar dicho proceso. En el proceso de embalaje se divide en tres grupos: Tray pack que cuenta con 33 trabajadoras, tómbolas con doce trabajadoras y las tapadoras que corresponden a siete. Finalmente paletizado cuenta con tres trabajadores.

6.4 Dimensiones de la línea

En la Tabla 10 se pueden apreciar las dimensiones de la línea de producción, las que se realizaron principalmente por proceso. Como se explicó anteriormente la empresa no cuenta con información de los equipos, por lo tanto para obtener dicha información se efectuaron mediciones manuales, las cuales obviamente son aproximadas y que pueden variar de las dimensiones reales de la línea.

Tabla 10: Dimensiones de la línea

Proceso	Equipo	Largo (m)	Ancho (m)
Vaciado	Riel de cadena	14	1,5
Pre-calibrado	Polines de alimentación	2,4	1,7
Lavado	Cepillos	14	1,7
Secado	Cepillos		
Aplicación de fungicida y/o cera	Cinta de traspaso		
Aplicación de fungicida y/o cera	Cepillos		
Túnel de secado	Cepillos	10,3	1,7
Túnel de secado	Polines		
Selección	Cinta de alimentación	9,8	2
Selección	Polines		1,1
Selección	Cinta de traspaso tramo 1		0,39
Selección	Cinta de traspaso tramo 2		1,3
Selección	Cinta comercial tramo 1	8,4	0,39
Selección	Cintra comercial tramo 2	7	0,59
Selección	Selección comercial	10,9	1,5
Selección	Cinta desecho tramo 1	12,5	0,39
Selección	Cinta desecho tramo 2	5,5	0,39
Calibrado y pesado	Rieles de alimentación	5	1,3
Calibrado y pesado	Rieles de salida de calibrador	26,2	
Selección y embalaje	Tray pack	3,6	0,55
Selección y embalaje	Tómbolas	5,5	0,3
Paletizado	Riel cadena tramo 1	24,2	0,6
Paletizado	Riel cadena tramo 2	23	0,6
Paletizado	Riel cadena tramo 3	14,8	0,6

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de FRUTASOL

6.5 Calidad de la manzana

Para determinar la calidad de las manzanas la empresa posee diferentes categorías en función del tipo de color que posee, existen cuatro categorías de color que frutasol mas utiliza para clasificar las manzanas, las cuales ordenadas de mayor a menor calidad como norma internacional como sigue: Extra Fancy, Fancy, Choice y CAT I que dependiendo del tipo de manzana posee un porcentaje de coloración diferente.

6.6 Clasificación de las manzanas

Como se explicaba anteriormente en los procesos de pre-calibraje, selección y embalaje hay un porcentaje de fruta el total que ingresa que no presenta las características de exportación y por lo tanto no puede ser embalada. La fruta que no aplica para este proceso se clasifica en tres categorías, las cuales se detallaran a continuación.

6.6.1 Pre-calibre

Este tipo de manzana es la primera en abandonar el proceso y corresponde a la fruta más pequeña que es eliminada a través de una especie de rejilla que contiene espacios circulares y por el cual cae toda la fruta más pequeña y es depositada en un bins de madera. Del total de fruta que entra a la línea para ser procesada, en esta etapa se elimina aproximadamente un 1% del total.

6.6.2 Desecho

Esta fruta corresponde a la de más baja calidad y que se elimina porque no cumple con las condiciones de exportación ni las condiciones para que sea clasificada como comercial. Esta fruta es eliminada del proceso en la etapa de selección, la cual es depositada en unas especies de tambores metálicos que son parte de la línea por donde viene la manzana y que están conectados a una cinta transportadora que pasa por debajo de la mesa de selección, la cual transporta la fruta hacia un bins para que se acumule. Esta fruta defectuosa equivale aproximadamente a un 2% de la fruta que viene en la línea.

6.6.3 Comercial

Esta clasificación corresponde a la fruta que no cumple con los requisitos de exportación pero que igualmente está en condiciones de ser consumida, la cual presenta pequeños defectos. Existen tres categorías de fruta comercial: A, B y C las cuales se diferencian por el calibre (tamaño) de la manzana.

En dos procesos diferentes se extrae esta fruta: en primer lugar de la etapa de selección y en segundo lugar de la etapa de embalaje. El total de esta clasificación de fruta equivale aproximadamente a un 28% del total de fruta que entra al proceso.

Para el modelo de simulación es necesario saber qué porcentaje de este 28% proviene de selección y qué porcentaje proviene de embalaje. La dificultad es que la empresa cuenta solo con el porcentaje total pero no tiene identificado cuánta fruta comercial proviene de cada proceso, razón por la cual hay que determinar estos porcentajes.

El porcentaje varía dependiendo principalmente de cómo viene la fruta de los huertos, ya que si viene mucha fruta comercial selección no es capaz de eliminar toda la fruta y un gran porcentaje de esta pasa al proceso de embalaje, llegando a eliminarse un 50% en cada proceso. Caso contrario, si viene poca fruta comercial en la línea selección prácticamente elimina toda la fruta comercial y un pequeño porcentaje pasa a embalaje. Para poder calcular dichos porcentajes se utiliza la siguiente fórmula de muestreo que se utiliza para estimar una proporción:

Ecuación 62: Fórmula para el cálculo de la muestra

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Para lo cual se utilizará un nivel de confianza del 95%, p corresponde al porcentaje de elementos que cumple las condiciones especificadas y q es el complemento. Como no se conocen estos valores se utiliza un porcentaje de 50% para cada valor, ya que de esta forma se opta a la mayor cantidad de datos a utilizar posibles, y e corresponde al valor del error máximo tolerable que se definirá en un 10%.

Ecuación 63: Cantidad de minutos a medir para el cálculo de manzanas

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,1^2} = 97$$

Fuente: Elaboración propia en base a (Ross, 1997)

El valor anterior indica que se es necesario calcular la cantidad de manzanas que pasan de embalaje a comercial en 97 minutos, en ciclos de un minuto, los cuales se pueden observar en el Anexo 20, con estos datos se procede a calcular un promedio, el cual indica que aproximadamente pasan 24 manzanas por minuto de este proceso. Al tener este valor lo multiplicamos por el tiempo de trabajo diario, descontando los tiempos de colación de 15 minutos, almuerzo de 45 minutos y tiempos perdidos por otras circunstancias que equivalen en promedio a 19 minutos diarios.

Ecuación 64: Cantidad de manzanas diarias de embalaje a comercial

$$24 \frac{\text{manzanas}}{\text{minuto}} * (660 - 15 - 45 - 19)\text{minutos} = 13.944 \text{ manzanas/diarias}$$

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la cantidad de bins que corresponde a las manzanas que provienen de embalaje, el valor calculado anterior se divide por 1500 manzanas que en promedio puede almacenar un bins, el cual arroja un promedio de 9 bins diarios.

Ahora bien, el promedio de bins diarios que pertenecen a comercial equivalen a 34, si utilizamos los 9 bins calculados y estimamos el porcentaje, indica que equivalen a un 26,5%, por lo cual, el restante 73,5% proviene de selección. Pero como el 28% de las manzanas que viene en la línea corresponden a comercial, calculamos el 26,5% del 28% y el 73,5% del 28% para calcular los porcentajes finales que irán en el modelo de simulación.

Ecuación 65: Porcentaje de fruta que se elimina de la línea en el proceso de embalaje

$$26,5\% * 28\% = 7,4\%$$

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 66: Porcentaje de fruta que se elimina de la línea en el proceso de selección

$$73,5\% * 28\% = 20,6\%$$

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto un 7,4% de las manzanas se pierde en el proceso de embalaje y un 20,6% de las manzanas se pierde en el proceso de selección.

6.7 Características de no conformidad

Cuando la fruta se selecciona existen ciertas condiciones de la manzana que no le permiten su exportación, las cuales son especies de defectos, enfermedades, plagas o golpes que posee la fruta, a continuación se presentan las principales que presenta la empresa FRUTASOL:

- Arañita: es de color blanquecino verdoso, la cual al alimentarse rompen el tejido de las hojas y la manzana provocando que la zona afectada se seque y se produzca bronceamiento.

- Corcho: son pequeñas manchas de tejido muerto en la pulpa, con formación de corcho en la sub-epidermis. Las manchas aparecen en cualquier sitio del exterior o interior del fruto.
- Cracking: grietas o rajaduras verticales que aparecen en la zona de la cavidad peduncular, que inicialmente son pequeñas y superficiales, pero luego se agrandan y profundizan pudiendo afectar tejidos más profundos.
- Daño por helada: el tejido adquiere una apariencia húmeda y los frutos sufren un aumento en la tasa respiratoria y de ablandamiento, pero sin daños en los tejidos
- Daño mecánico: que corresponde al daño que se produce en el campo producto del movimiento de las máquinas que trabajan en los sectores. Provocan síntomas de machucones o magullones.
- Deformación: hace referencia a cualquier deformación leve que altere la simetría del fruto.
- Deshidratación: se caracteriza porque la piel del fruto pierde brillo, adquiere un aspecto rugoso y manifiesta arugas como síntoma de marchitamiento. Al tacto el fruto tiene una consistencia esponjosa y elástica
- Falta de color: corresponde a aquella fruta que no alcanza la intensidad de color, por lo que esta fuera del límite para la categoría de embalaje.
- Golpe de sol: se manifiesta en el campo y se caracteriza por un cambio de color de la piel de la zona de los frutos expuestos al sol.
- Lenticela: el daño compromete solo a las lenticelas las cuales se observan ligeramente oscurecidas, negras o como pequeñas manchas marrones superficiales.
- Machucón: se produce en las superficie sin abertura de la epidermis, la cual toma una coloración traslúcida producida por los golpes o presiones.
- Herida abierta: daño en la epidermis que puede comprometer o no la pulpa, la cual se considera grave independiente de su longitud.

CAPÍTULO 7: CONFECCIÓN DEL MODELO MEDIANTE SIMULACIÓN

En el presente capítulo se lleva a cabo el modelo lógico de la simulación del proceso de packing de manzanas, explicando generalmente por procesos los módulos utilizados del software y cómo funcionan. Además se describe brevemente el software a utilizar y sus principales características.

7 Traducción del modelo mediante simulación

Para poder dar respuesta a la problemática planteada en el capítulo uno, es necesario llevar a cabo un modelo de simulación con todos los datos procesados en los capítulos anteriores. En el mercado existen varios programas de simulación, pero como estudiante solo se puede optar al software ARENA, por lo cual se definirá como programa de simulación a utilizar.

7.1 Software ARENA

ARENA es un software de simulación de eventos discretos para la optimización de eventos discretos, que combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación. Se presenta como una herramienta orientada al proceso, lo que permite la descripción completa de la experiencia que una entidad desarrolla al interior del sistema conforme fluye o avanza a través de él.

Ya que este software está orientado al proceso, el desarrollo de los modelos en ARENA se orientan sobre una base gráfica asociada a la construcción de diagramas de flujo que describen la serie de pasos que debe seguir una entidad conforme avanza en el sistema, es decir, que ARENA posibilita la construcción de los modelos sin la necesidad de codificar los programas, ya que es el mismo software quien provee una serie de módulos gráficos que permiten desarrollar las descripciones de los procesos asociados a los sistemas que se modelan.

7.1.1 Conceptos generales

ARENA posee una serie de herramientas que son necesaria de conocer a la hora de utilizar el software, ya que si no se manejan es posible que fácilmente se tengan problemas para su utilización.

- **Ventana del modelo:** esta corresponde a la pantalla principal del simulador, la cual contiene la vista del diagrama de flujo que muestra el diagrama propiamente tal, la animación y los elementos gráficos de simulación. También cuenta con la vista de hoja de cálculo que contiene la información del modelo y permite el acceso a todos los parámetros y elementos de este.

- **Barra de proyectos:** esta contiene una serie de paneles los cuales sirven para la elaboración de los modelos. El Panel de Procesos Básicos o *Basic Process Panel* posee los elementos básicos para la construcción del modelo, los cuales se denominan módulos, *Reports Panel* contiene la lista de los resultados de la simulación tras la ejecución. *Navigate Panel* muestra distintas vista de un modelo, además de los submodelos de una forma jerárquica. *Advanced Process* posee elementos al igual que el panel de procesos básicos, pero para tareas adicionales y más profesionales, *Advanced Transfer* que posee opciones para mover las entidades.
- **Barra de herramientas:** se posiciona en la parte superior de la pantalla y proporciona acceso rápido a las distintas herramientas del programa, las cuales pueden mostrarse u ocultarse mediante los comandos *view/toolbars*.
- **Barra de estado:** se sitúa en la parte inferior de la pantalla y muestra información dependiendo de lo que está pasando en el modelo. Cuando el modelo está en elaboración muestra las coordenadas de ubicación y cuando está en funcionamiento indica el tiempo de simulación, el número de réplicas y la cantidad de réplicas programadas.
- **Módulos:** son elementos básicos con los que se construyen los modelos, los cuales se encuentran en algunos de los paneles existentes en la barra de proyectos. El diagrama que se construye con estos describe la dinámica asociada a los procesos que tienen lugar en el sistema, por lo que es recomendable conceptualizar los módulos como nodos de una red por donde circulan las entidades desde un punto inicial a un punto final.
- **Módulos de datos:** corresponden a un tipo especial de módulo que no tienen representación en la vista del diagrama de flujo del modelo, solo aparece en la vista de hoja de cálculo. Sirven para definir las características de varios procesos y elementos del modelo. Los iconos de estos módulos se asemejan a pequeñas hojas de cálculo.

Para que el programa funcione de la mejor manera posible, el computador debe poseer ciertas características. Los requerimientos recomendados es que la *laptop* cuente con un procesador de 3 GHz y 4GB de RAM.

En relación a los resultados ARENA despliega una ventana una vez finalizada la simulación con diferente información, como cantidad de producción total, por recurso, tiempo efectivo de trabajo, tiempo de ocio, entre otros, además de gráficas que reflejan la misma información.

7.2 Descripción del modelo

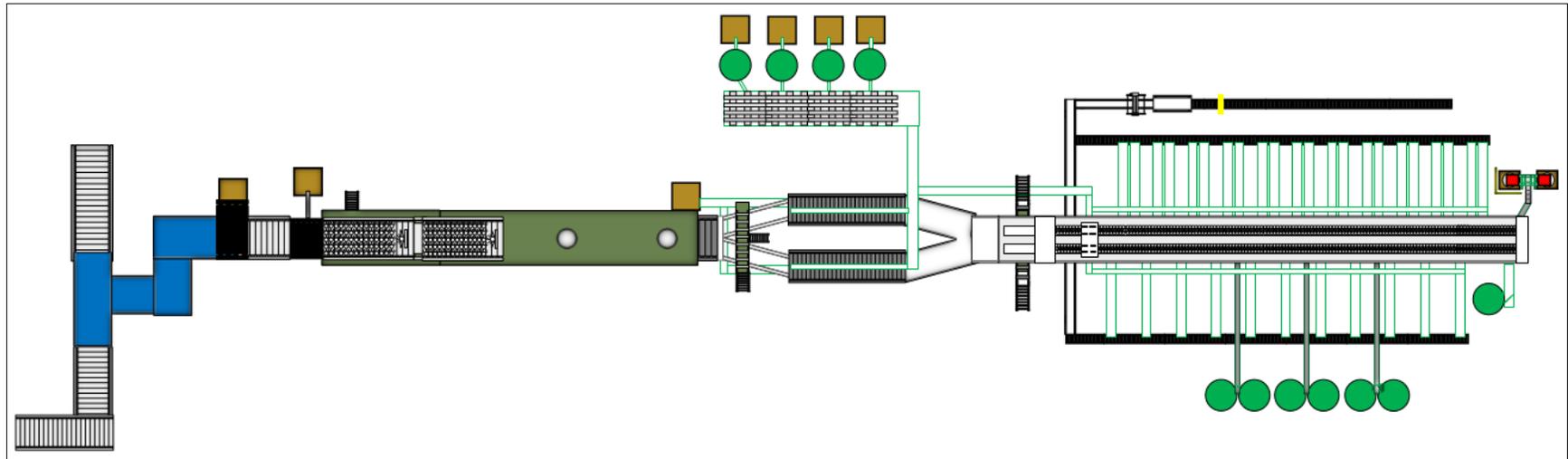
La línea de proceso de packing se puede apreciar en el layout de la Ilustración 13, la cual se instala como se mencionó anteriormente en un área aproximada de 1.348 metros cuadrados. En este diagrama están presentes todos los elementos y máquinas necesarias para llevar a cabo la simulación.

Para llevar a cabo el modelo lógico de la simulación, se explicará por proceso siguiendo el mismo orden que se presenta el diagrama o *layout* de la Ilustración 13.

7.2.1 Vaciado

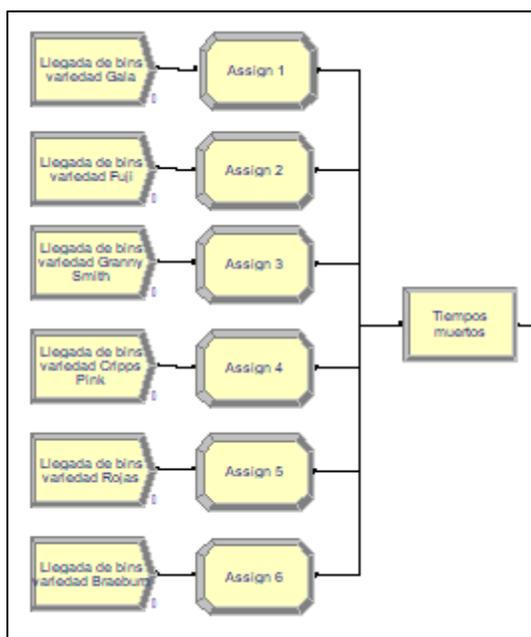
El modelo lógico inicia con seis módulos *create* que genera las entradas de los *bins* de las diferentes variedad de manzanas que se procesan, además se presenta en cada entrada un *assign* los cuales permiten que más adelante, específicamente en el proceso de embalaje se divida el flujo dependiendo de la variedad de la manzana que se está procesando, ya que cada manzana tiene su tiempo distintivo en dicho proceso. El modelo también presenta un módulo *delay* que retiene las entidades que circulan por el proceso llamado “tiempos muertos” que representa los tiempos específicamente de cambio de productor y variedad, más que tiempo corresponde una distribución de probabilidad de ocurrencia, que se obtuvo de datos reales de la temporada actual. (Ver Ilustración 14)

Ilustración 13: Layout línea de producción área de packing



Fuente: Elaboración propia

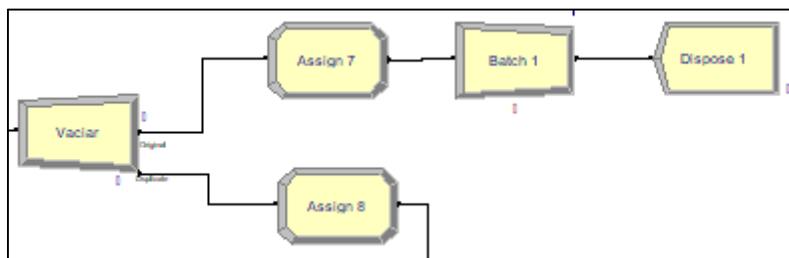
Ilustración 14: Inicio del proceso



Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

Una vez que ingresa el *bins*, existe un módulo llamado “vaciar”, que divide el flujo en *bins* vacío (el cual gracias al módulo *assign* genera la entidad “*bins* vacío” que se retira por una cinta de cadenas) y manzanas para que sigan fluyendo como tales por el proceso, el cual también posee su propio *assign* para generar dichas entidades. (Ver Ilustración 15)

Ilustración 15: Proceso de vaciado



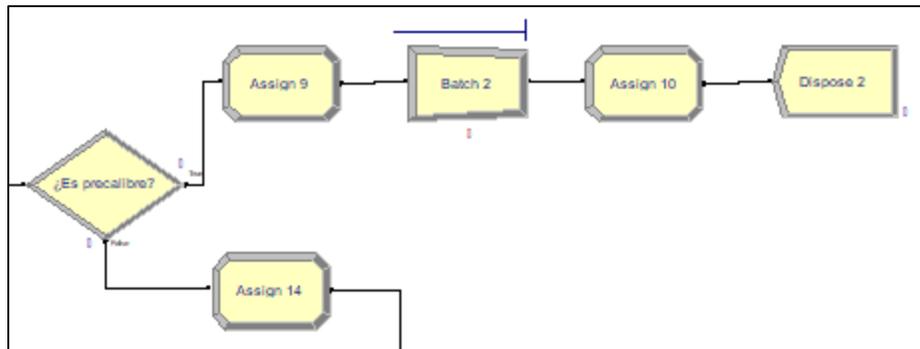
Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

7.2.2 Pre-selección

En esta etapa se lleva a cabo la eliminación de las manzanas clasificadas como pre-calibre que corresponde a la fruta más pequeña, aquí el modelo consta solo con un *decide* llamado “¿es pre-calibre?” que divide a través de un porcentaje, la cantidad de manzanas que vienen en el flujo, si es verdadero se elimina esta fruta del proceso. En esta parte, el modelo presenta

un *assign* para asignar la entidad de manzana pre-calibre, un *batch* para juntar un número fijo de manzanas de este tipo para que posteriormente exista otro *assign* para darle la entidad de *bins* de manzana pre-calibre, para que finalmente abandone el proceso como *bins*. (Ver Ilustración 16)

Ilustración 16: Eliminación fruta pre-calibre



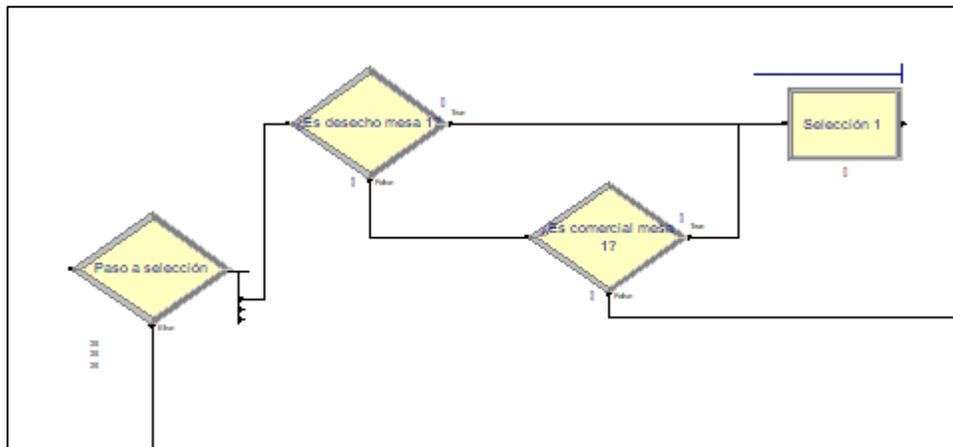
Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

7.2.3 Selección

Es importante mencionar que antes del proceso de selección existen otros procesos pero que el modelo lógico no considera porque solo consiste en el avance de la fruta por la línea de producción.

En este proceso existe en primer lugar un *decide* que tiene como único fin dividir el flujo que viene en cuatro partes iguales, que corresponden a la cantidad de mesas de selección que existen en dicho proceso. Posteriormente las decisiones que deben tomar las seleccionadoras están representadas por dos módulos *decide*, el primero indica si la manzana corresponde a desecho y el segundo hace referencia a si la manzana es comercial. Es necesario recalcar que en general la fruta comercial no es retirada en su totalidad en este proceso, como se explicó anteriormente. (Ver Ilustración 17)

Ilustración 17: Eliminación fruta desecho y comercial

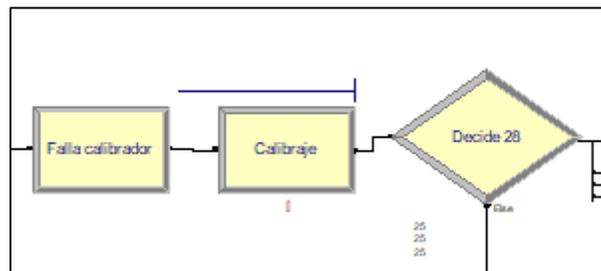


Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

7.2.4 Calibrage

Este proceso está representado por un *basic process*, que permite determinar el uso de este equipo automático, además de contar con un módulo *delay* llamado “falla calibrador” que representa las fallas del equipo y al final hay un *decide* para dividir el flujo de manzanas. (Ver Ilustración 18)

Ilustración 18: Proceso de calibrage



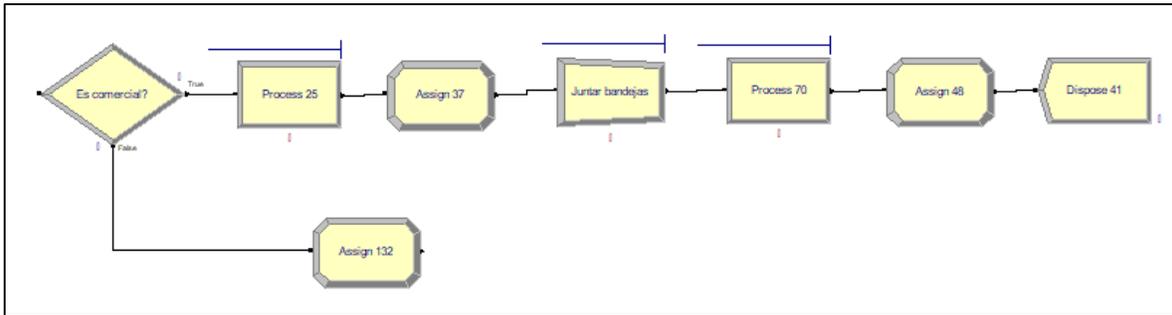
Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

7.2.5 Embalaje

Este es un proceso simple de modelar pero es extenso, consiste en tres procesos diferentes, el primero consiste en el llenado de bandejas, el cual inicia con un *decide* que permite eliminar un porcentaje de fruta de calidad comercial, luego está un *basic process* el cual contiene el recurso embaladora y la distribución del tiempo de llenado de bandejas. Además existe un *assign* para transformar las “manzanas” a “bandejas con manzanas” y un módulo *batch* para acumular la cantidad exacta de bandejas que van en las cajas. El segundo proceso

consiste en el llenado de cajas con las bandejas ya listas, el cual se representa mediante un *basic process* con el recurso tapador, y su respectivo tiempo de llenado de las cajas y un módulo *assign* para transformar las bandejas a cajas. Existe otro módulo *assign* para identificar a la fruta comercial que se elimina en este proceso. (Ver Ilustración 19)

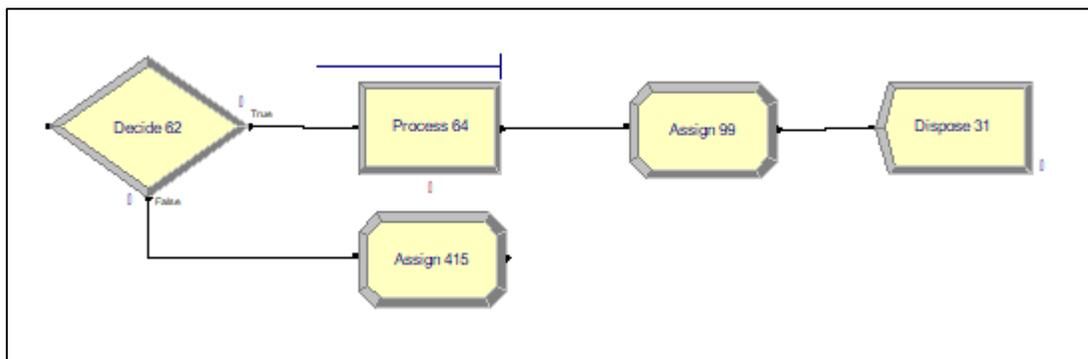
Ilustración 19: Embalaje tray pack



Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

Finalmente existe un tercer proceso que es el llenado inmediato de las cajas, el cual se representa mediante un *decide* para indicar la decisión de elección de la manzana para ver si corresponde a calidad comercial o no, un *basic process* que indica el llenado de las cajas con manzanas con el recurso embaladora, y un módulo *assign* para transformar las manzanas que entran a cajas ya listas, y otro *assign* que para el mismo caso anterior representa las manzanas calidad comercial. (Ver Ilustración 20)

Ilustración 20: Embalaje tómbolas



Fuente: Elaboración propia mediante Software Arena

7.3 Entidades del modelo

Como toda simulación, existen diferentes entidades que circulan por el proceso y que son importantes de indicar para un mejor entendimiento.

7.3.1 Manzanas de ingreso al sistema

Esta entidad corresponde al ingreso de los *bins* de manzana al sistema, el cual presenta círculos de diferentes colores que indican las diferentes clasificaciones de manzanas: pre-calibre, desecho, comercial y exportable (Ver Ilustración 21). Una vez que las manzanas son vaciadas en la piscina, un *bins* vacío abandona el sistema, el cual puede apreciarse en la Ilustración 22.

Ilustración 21: Bin de ingreso al sistema



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Bin vacío

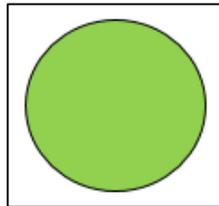


Fuente: Elaboración propia

7.3.2 Fruta calidad pre-calibre

Esta corresponde a la fruta que se elimina en primera instancia del sistema, la cual es representada por círculos de color verde, como se puede apreciar en la Ilustración 23. El *bins* con círculos verdes (Ver Ilustración 24) es la entidad que se elimina una vez que éste está lleno, por un trabajador.

Ilustración 23: Representación manzanas pre-calibre



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Representación *bins* manzana pre-calibre

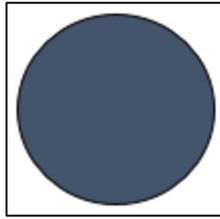


Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Fruta calidad desecho

Este tipo de fruta es representado en el sistema por un círculo azul, como se puede apreciar en la Ilustración 25. Una vez que el *bins* está lleno de este tipo de fruta, se elimina del sistema como lo muestra la entidad de la Ilustración 26, mediante trabajadores con traspaleta.

Ilustración 25: Representación manzanas de desecho



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26: Representación bins manzana desecho

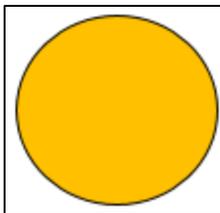


Fuente: Elaboración propia

7.3.4 Fruta calidad comercial

Este tipo de fruta se representa en el sistema a través de un círculo amarillo como el que se muestra en la Ilustración 27. Una vez que un *bins* se llena con este tipo de manzana se elimina del sistema como se muestra en la Ilustración 28.

Ilustración 27: Representación manzana comercial



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28: Representación bins manzana comercial

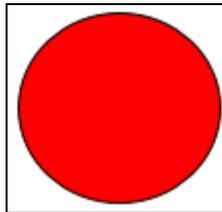


Fuente: Elaboración propia

7.3.5 Fruta calidad exportación

Este tipo de fruta es representada en el sistema a través de círculos de color rojo como el que se ve en la Ilustración 29.

Ilustración 29: Representación manzana de exportación



Fuente: Elaboración propia

7.3.6 Bandeja de manzanas

Esta entidad se presenta en el momento del embalaje de las manzanas (ver Ilustración 30), es la primera entidad que se presenta en el proceso de embalaje. A pesar de que son varios tipos de bandejas, se elige una pues así es más simple el modelo, pero el tiempo es una distribución que representa las diferentes bandejas.

Ilustración 30: Bandeja de manzanas

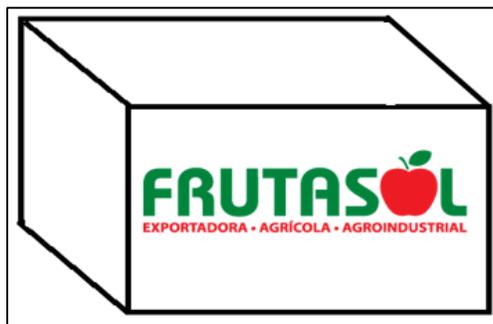


Fuente: Elaboración propia

7.3.7 Cajas embaladas

Este tipo de entidad está representada por la imagen de la Ilustración 31, la cual representa el proceso final de embalaje. Esta sale de las diferentes salidas acorde a la cantidad de embaladoras presentes en la línea.

Ilustración 31: Caja de manzanas



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 8: VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

En este capítulo se llevará a cabo la validación del modelo de simulación, lo que permitirá determinar la precisión de este y verificar que representa al sistema real, para lo cual se desarrollaran una serie de test de hipótesis comparando los resultados del modelo con datos reales de temporadas anteriores.

8 Validación

Esta etapa tiene por fin verificar y comparar que los resultados arrojados por el modelo de simulación se justan a los resultados reales presentes en el proceso de embalaje. Se pueden comparar diferentes *ítems*, por ejemplo cantidad de kilos hombres, cantidad de kilos totales o cantidad de cajas embaladas, todo esto en diferentes unidades de tiempo dependiendo del tiempo de la simulación, que puede ser por hora, diario, mensual o por temporada.

8.1 Problemas de la validación

Para poder validar el modelo es necesario evidentemente que este funcione. Al llevar a cabo el modelo y al iniciar la simulación se presentaron algunos problemas que no permitían el funcionamiento, los cuales se detallarán a continuación.

8.1.1 Cantidad de entidades

Cuando un *bins* de manzanas ingresa al sistema este se dividía en 1500 manzanas a través de un *separate*, esto sumado a la cantidad de procesos que posee el modelo, hizo que este no funcionara por sobrepasar la máxima capacidad de entidades, por lo cual fue necesario que al dividir la cantidad de manzanas no fuesen 1500 como era originalmente sino que se dividiera en 150 entidades.

Como se generó este problema fue necesario además que se modificaran los procesos de embalajes y las capacidades de los equipos a la misma escala, lo cual se trató de hacer y no alterar en demasía el proceso real, agregando algunos módulos y modificando algunas capacidades de los equipos, y además tratando de no alterar los tiempos reales de embalaje.

8.1.2 Capacidad computacional del equipo

Un segundo problema presente fue la capacidad computacional del equipo, ya que ahora arrojaba un mensaje que la memoria no era suficiente para correr el modelo, por lo cual esta vez se dividió el *bins* de ingreso en aproximadamente 85 entidades, las cuales ahora representan bandejas de manzanas de aproximadamente 4,5 kilogramos y nuevamente se tuvo que modificar algunos procesos y agregar alguna entidades, sin embargo el modelo se vio un poco alterado, pero que sin embargo otorga resultados coherentes. El tema

computacional igualmente hace que el modelo final funcione solo un turno completo, lo cual se utilizará para validarlo.

8.1.3 Proceso estándar

El modelo presenta una constante en todo el proceso, salvo en el proceso de embalaje que posee distribuciones de tiempo, sin embargo son tiempos pequeños que no varían mucho unas de otras, además de que la cantidad de entidades son menores a las que se consideró originalmente, lo cual tornó el modelo como un proceso constante, lo que significa que al correrlo para un turno más de una vez entrega las mismas cantidades de cajas, lo cual pasa para las diferentes variedades de manzanas.

Una variación que se realizó fue modificar los *decide* que eliminan las frutas que no cumplen con las condiciones de exportación y atribuirle una distribución de porcentaje de eliminación, sin embargo la producción no varió al correr la simulación más de una vez, lo que hace pensar que lo más probable es que son muy pocas entidades que corre por el sistema y por ende siempre se toma la misma cantidad.

Para que el modelo entregue diferentes valores para calcular el número de réplicas y validarlo lo que se puede hacer es modificar manualmente el porcentaje que se distribuye en cada mesa de embalaje y/o modificar los porcentajes de fruta que se eliminan en pre-calibre, selección o embalaje para cada corrida del modelo para las diferentes variedades, ya que para el modelo esos porcentajes son un promedio y además se intentó atribuirle una distribución pero aun así no varió.

8.1.4 Datos de entrada para el modelo

La cantidad de datos de entrada para el modelo fue otro problema, ya que existen ciertas variedades de fruta con muy pocos días productivos y que no es posible de comparar con las demás variedades y por otra parte existen otras variedades que se procesan la mayor parte del tiempo solo algún par de horas al día. Para estos casos se tomara una constante de entrada para el modelo, para el caso de las variedades Granny Smith y Rojas. En las demás variedades se tomará la distribución que se presentó anteriormente.

8.2 Número de réplicas

La validación del modelo se llevará a cabo como se explicó en el marco teórico del capítulo 2, sin embargo es necesario que previamente se estimen el número de réplicas a utilizar para obtener resultados coherentes. Se realizará este cálculo para las diferentes variedades de manzanas.

Se toma una muestra inicial de diez réplicas para la variedad Gala, para determinar la cantidad real de réplicas a utilizar para validar el modelo, utilizando modificaciones en los porcentajes para que la producción varíe aunque sea en pequeñas cantidades. Dichos resultados se pueden apreciar en la Tabla 11.

Tabla 11: Kilogramos de la simulación

Kilogramos de exportación diarios simulados	
Gala	
66.798	75.384
66.510	64.278
68.076	66.078
67.212	70.956
65.538	71.658

Fuente: Elaboración propia

Con esta información se procede a definir los parámetros necesarios para calcular el número óptimo, los cuales se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12: Parámetros necesarios para el cálculo del número de réplicas

Parámetro	Valor
n_0	10
$S(n_0)$	8.834
e	6.623,7
$t_{\frac{\alpha}{2}}$	2,26

Fuente: Elaboración propia

El valor 2,26 corresponde a un nivel de confianza del 95% que corresponde a un valor de α de 0,05, pero como corresponde a $\alpha/2$ entrega un valor de 0,025, el cual se busca en la tabla

t-student (ver Anexo 23) con $n-1$ grados de libertad, donde n corresponde al número de réplicas, es decir, diez, al quitarle uno quedan nueve grados de libertad. Buscamos este valor en la tabla mencionada con parámetros 0,025 y nueve grados de libertad, el cual arroja un valor de 2,26. Para desarrollar el cálculo se utiliza la Ecuación 67, que también se encuentra presente en el marco teórico.

Ecuación 67: Número de réplicas

$$n \geq \left(\frac{t \frac{\alpha}{2} n_0 - 1 * S(n_0)}{e} \right)^2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Reemplazando los valores de la tabla anterior en la fórmula presentada se obtiene que se necesita un mínimo de diez réplicas. De igual manera para las demás variedades, se toma una muestra inicial de diez réplicas las cuales se pueden apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13: Kilogramos simulados para las diferentes variedades

Kilogramos de exportación diarios simulados				
Fuji	Granny Smith	Cripps Pink	Rojas	Braeburn
65.178	42.696	67.014	51.678	62.244
63.090	42.534	62.658	52.542	66.841
68.256	44.838	70.020	51.516	63.242
73.296	44.316	64.980	62.802	68.431
72.054	42.426	62.208	53.118	71.945
70.686	42.822	63.054	52.182	64.174
70.578	42.858	65.322	53.676	64.237
69.120	48.258	68.274	52.146	69.733
66.456	47.574	62.838	53.370	67.243
66.474	46.620	66.564	52.938	65.839

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros necesarios se encuentran resumidos en la Tabla 14 al igual que el número de réplicas, los valores se encuentran redondeados hacia el valor mayor para obtener un número entero.

Tabla 14: Resumen de parámetros y número mínimo de réplicas para las variedades de manzanas

Parámetro	Fuji	Granny Smith	Cripps Pink	Rojas	Braeburn
n_0	10	10	10	10	10
$S(n_0)$	8.760	6.209	7.152	6.190	8.152
e	6.575,0	4.451,7	6.533,6	5.117,1	5.837,4
$t_{\frac{\alpha}{2}}$	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
N° de réplicas	10	10	7	8	10

Fuente: Elaboración propia

8.3 Validación del modelo variedad Gala

Para realizar la validación del modelo se evalúa la igualdad o desigualdad entre las medias que entrega el modelo de simulación con la media de los datos reales del mes de Marzo del 2018, ya que es en este periodo donde hubo menores cambios de variedades, y de esta manera es posible realizar una comparación con un turno de simulación. Las hipótesis a evaluar son las siguientes:

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Todas las fórmulas a utilizar para la validación son bajo la premisa de que las varianzas son desconocidas y diferentes. Además es necesario contar con el estadístico de prueba, el cual puede ser obtenido de la tabla *T student* definiendo un nivel de confianza del 95% equivalente a $\alpha/2$ que posee un valor del 0,025 y con v grados de libertad, los cuales se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 68: Cálculo de grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2 + 1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$S_1 = 36.526 \text{ (Valor de la producción real)}$$

$$S_2 = 8.834 \text{ (Valor de la simulación)}$$

$$n_1 = 18$$

$$n_2 = 10$$

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se encuentra el valor de los grados de libertad que corresponden a 425, contando además con el valor anterior de $\alpha/2$ se procede a buscar el valor del t crítico en la tabla *T-student*, el cual corresponde a 1,96. Con este valor es necesario establecer las condiciones de rechazo o aceptación de la hipótesis, la cual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } t_0 > t \text{ crítico}$$

Ahora es necesario calcular el valor t_0 para la comparación, el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 69: Cálculo del t de comparación

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$\bar{x}_1 = 66.240 \text{ (Producción real)}$$

$$\bar{x}_2 = 68.249 \text{ (Producción simulada)}$$

Con estos valores y los anteriores descritos se procede a calcular el valor de t_0 , el cual arroja un valor de 0,22, como $t_0 = 0,0127 < t_{crítico} = 1,96$, no hay prueba suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto se acepta la similitud de las medias entre el modelo real y el simulado.

8.4 Validación del modelo variedad Fuji

Para realizar la validación del modelo se evalúa la igualdad o desigualdad entre las medias que entrega el modelo de simulación con la media de los datos reales del mes de abril del 2017, ya que es en este periodo donde hubo menores cambios de variedades, y de esta manera es posible realizar una comparación con un turno de simulación. Las hipótesis a evaluar son las siguientes:

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Todas las fórmulas a utilizar para la validación son bajo la premisa de que las varianzas son desconocidas y diferentes. Además es necesario contar con el estadístico de prueba, el cual puede ser obtenido de la tabla *T student* definiendo un nivel de confianza del 95% equivalente a $\alpha/2$ que posee un valor del 0,025 y con v grados de libertad, los cuales se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 70: Cálculo de grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2 + 1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$S_1 = 20.642 \text{ (Valor de la producción real)}$$

$$S_2 = 8.760 \text{ (Valor de la simulación)}$$

$$n_1 = 10$$

$$n_2 = 10$$

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se encuentra el valor de los grados de libertad que corresponden a 161, contando además con el valor anterior de $\alpha/2$ se procede a buscar el valor del t crítico en la tabla *T-student*, el cual corresponde a 1,974. Con este valor

es necesario establecer las condiciones de rechazo o aceptación de la hipótesis, la cual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } t_0 > t_{\text{crítico}}$$

Ahora es necesario calcular el valor t_0 para la comparación, el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 71: Cálculo del t de comparación

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$\bar{x}_1 = 65.750 \text{ (Producción real)}$$

$$\bar{x}_2 = 68.519 \text{ (Producción simulada)}$$

Con estos valores y los anteriores descritos se procede a calcular el valor de t_0 , el cual arroja un valor de 0,39, como $t_0 = 0,39 < t_{\text{crítico}} = 1,974$, no hay prueba suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto se acepta la similitud de las medias entre el modelo real y el simulado.

8.5 Validación del modelo variedad Granny Smith

Para realizar la validación del modelo se evalúa la igualdad o desigualdad entre las medias que entrega el modelo de simulación con la media de los datos reales del mes de abril del 2017, ya que es en este periodo donde hubo menores cambios de variedades, y de esta manera es posible realizar una comparación con un turno de simulación. Las hipótesis a evaluar son las siguientes:

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Todas las fórmulas a utilizar para la validación son bajo la premisa de que las varianzas son desconocidas y diferentes. Además es necesario contar con el estadístico de prueba, el cual

puede ser obtenido de la tabla *T student* definiendo un nivel de confianza del 95% equivalente a $\alpha/2$ que posee un valor del 0,025 y con v grados de libertad, los cuales se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 72: Cálculo de grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2 + 1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$S_1 = 41.449 \text{ (Valor de la producción real)}$$

$$S_2 = 6.209 \text{ (Valor de la simulación)}$$

$$n_1 = 12$$

$$n_2 = 10$$

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se encuentra el valor de los grados de libertad que corresponden a 176, contando además con el valor anterior de $\alpha/2$ se procede a buscar el valor del t crítico en la tabla *T-student*, el cual corresponde a 1,973. Con este valor es necesario establecer las condiciones de rechazo o aceptación de la hipótesis, la cual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } t_0 > t \text{ crítico}$$

Ahora es necesario calcular el valor t_0 para la comparación, el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 73: Cálculo del t de comparación

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$\bar{x}_1 = 44.517 \text{ (Producción real)}$$

$$\bar{x}_2 = 44.494 \text{ (Producción simulada)}$$

Con estos valores y los anteriores descritos se procede a calcular el valor de t_0 , el cual arroja un valor de 0,0018, como $t_0 = 0,0018 < t_{\text{critico}} = 1,973$, no hay prueba suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto se acepta la similitud de las medias entre el modelo real y el simulado.

8.6 Validación del modelo variedad Cripps Pink

Para realizar la validación del modelo se evalúa la igualdad o desigualdad entre las medias que entrega el modelo de simulación con la media de los datos reales del mes de mayo del 2018, ya que es en este periodo donde hubo menores cambios de variedades, y de esta manera es posible realizar una comparación con un turno de simulación. Las hipótesis a evaluar son las siguientes:

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Todas las fórmulas a utilizar para la validación son bajo la premisa de que las varianzas son desconocidas y diferentes. Además es necesario contar con el estadístico de prueba, el cual puede ser obtenido de la tabla *T student* definiendo un nivel de confianza del 95% equivalente a $\alpha/2$ que posee un valor del 0,025 y con v grados de libertad, los cuales se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 74: Cálculo de grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2 + 1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$S_1 = 5.794 \text{ (Valor de la producción real)}$$

$$S_2 = 7.152 \text{ (Valor de la simulación)}$$

$$n_1 = 4$$

$$n_2 = 10$$

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se encuentra el valor de los grados de libertad que corresponden a 58, contando además con el valor anterior de $\alpha/2$ se procede a buscar el valor del t crítico en la tabla *T-student*, el cual corresponde a 2,001. Con este valor es necesario establecer las condiciones de rechazo o aceptación de la hipótesis, la cual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } t_0 > t \text{ crítico}$$

Ahora es necesario calcular el valor t_0 para la comparación, el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 75: Cálculo del t de comparación

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$\bar{x}_1 = 65.336 \text{ (Producción real)}$$

$$\bar{x}_2 = 65.293 \text{ (Producción simulada)}$$

Con estos valores y los anteriores descritos se procede a calcular el valor de t_0 , el cual arroja un valor de 0,0116, como $t_0 = 0,0116 < t_{crítico} = 2,001$, no hay prueba suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto se acepta la similitud de las medias entre el modelo real y el simulado.

8.7 Validación del modelo variedad Rojas

Para realizar la validación del modelo se evalúa la igualdad o desigualdad entre las medias que entrega el modelo de simulación con la media de los datos reales del mes de abril del

2018, ya que es en este periodo donde hubo menores cambios de variedades, y de esta manera es posible realizar una comparación con un turno de simulación. Las hipótesis a evaluar son las siguientes:

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Todas las fórmulas a utilizar para la validación son bajo la premisa de que las varianzas son desconocidas y diferentes. Además es necesario contar con el estadístico de prueba, el cual puede ser obtenido de la tabla *T student* definiendo un nivel de confianza del 95% equivalente a $\alpha/2$ que posee un valor del 0,025 y con v grados de libertad, los cuales se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 76: Cálculo de grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2 + 1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$S_1 = 23.112 \text{ (Valor de la producción real)}$$

$$S_2 = 6.190 \text{ (Valor de la simulación)}$$

$$n_1 = 7$$

$$n_2 = 10$$

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se encuentra el valor de los grados de libertad que corresponden a 68, contando además con el valor anterior de $\alpha/2$ se procede a buscar el valor del t crítico en la tabla *T-student*, el cual corresponde a 1,995. Con este valor es necesario establecer las condiciones de rechazo o aceptación de la hipótesis, la cual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } t_0 > t \text{ crítico}$$

Ahora es necesario calcular el valor t_0 para la comparación, el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 77: Cálculo del t de comparación

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$\bar{x}_1 = 51.171 \text{ (Producción real)}$$

$$\bar{x}_2 = 53.597 \text{ (Producción simulada)}$$

Con estos valores y los anteriores descritos se procede a calcular el valor de t_0 , el cual arroja un valor de 0,27, como $t_0 = 0,27 < t_{crítico} = 1,995$, no hay prueba suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto se acepta la similitud de las medias entre el modelo real y el simulado.

8.8 Validación del modelo variedad Braeburn

Para realizar la validación del modelo se evalúa la igualdad o desigualdad entre las medias que entrega el modelo de simulación con la media de los datos reales del mes de abril del 2017, ya que es en este periodo donde hubo menores cambios de variedades, y de esta manera es posible realizar una comparación con un turno de simulación.

Hay que aclarar que para esta variedad solo se tomaron dos días de producción del mes mencionado anteriormente debido a que los demás días la producción es muy baja debido a la gran cantidad de cambios de variedad por día, lo que produce una alteración de los kilogramos procesados. Las hipótesis a evaluar son las siguientes:

$$H_0: \mu(\text{modelo}) = \mu(\text{real})$$

$$H_1: \mu(\text{modelo}) \neq \mu(\text{real})$$

Todas las fórmulas a utilizar para la validación son bajo la premisa de que las varianzas son desconocidas y diferentes. Además es necesario contar con el estadístico de prueba, el cual

puede ser obtenido de la tabla *T student* definiendo un nivel de confianza del 95% equivalente a $\alpha/2$ que posee un valor del 0,025 y con v grados de libertad, los cuales se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 78: Cálculo de grados de libertad

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^2/n_1}{n_1 + 1}\right)^2 + \left(\frac{S_2^2/n_2}{n_2 + 1}\right)^2} - 2$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$S_1 = 7.398 \text{ (Valor de la producción real)}$$

$$S_2 = 8.152 \text{ (Valor de la simulación)}$$

$$n_1 = 2$$

$$n_2 = 10$$

Reemplazando los valores en la fórmula anterior se encuentra el valor de los grados de libertad que corresponden a 12, contando además con el valor anterior de $\alpha/2$ se procede a buscar el valor del t crítico en la tabla *T-student*, el cual corresponde a 2,2. Con este valor es necesario establecer las condiciones de rechazo o aceptación de la hipótesis, la cual quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } t_0 > t \text{ crítico}$$

Ahora es necesario calcular el valor t_0 para la comparación, el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 79: Cálculo del t de comparación

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Fuente: (Ross, 1997)

Donde:

$$\bar{x}_1 = 58.374 \text{ (Producción real)}$$

$$\bar{x}_2 = 66.393 \text{ (Producción simulada)}$$

Con estos valores y los anteriores descritos se procede a calcular el valor de t_0 , el cual arroja un valor de 1,375, como $t_0 = 1,375 < t_{crítico} = 2,2$, no hay prueba suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto se acepta la similitud de las medias entre el modelo real y el simulado.

CAPÍTULO 9: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS

En el presente capítulo se lleva a cabo un análisis de los resultados para dar respuesta a la problemática y además se realizan una serie de experimentos orientados a mejorar los problemas detectados con el modelo de simulación, para lo cual se prueban diferentes alternativas para posteriormente comparar los resultados y verificar los beneficios que se presentan con dichas mejoras.

9 Análisis de los resultados y realización de experimentos

Una vez validado el modelo, lo que continúa es analizar los resultados entregados por el programa para dar respuesta a una parte de la problemática, una vez hecho esto se realizarán una serie de experimentos con el fin de mejorar el sistema productivo de manzanas.

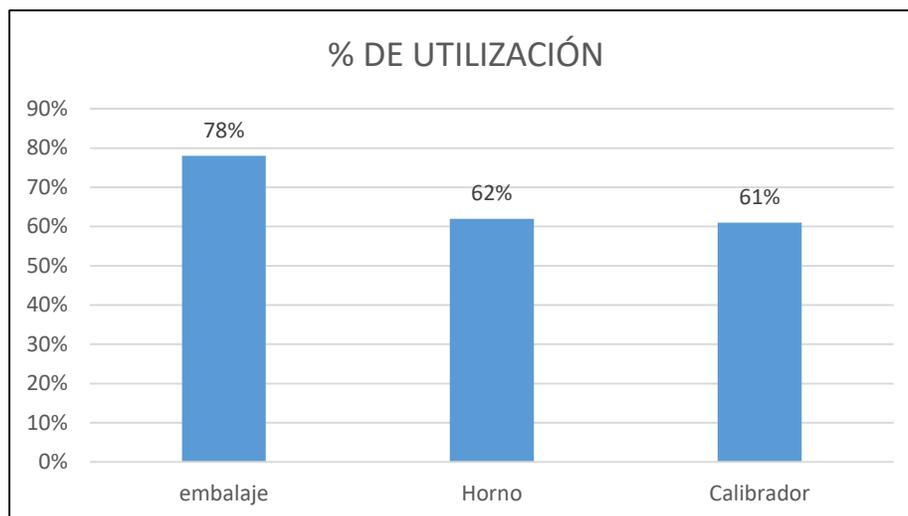
9.1 Análisis de resultados

Ya que el proceso es más bien constante, la producción también sigue la misma tendencia, por lo que se va a analizar solo la variedad de manzana que se procesa en mayor cantidad que corresponde a la gala, que representa aproximadamente un 51% del total.

El primer objetivo de este proyecto era verificar la limitante del proceso, es decir, el cuello de botella presente en la línea de producción. Al analizar los datos entregados por la simulación y ajustarlos por las modificaciones realizadas, se obtiene el tiempo efectivo de trabajo para los recursos y equipos.

En el Gráfico 27 se puede apreciar que el mayor tiempo de utilización corresponde a la zona de embalaje con un promedio de todas las trabajadoras, tanto de *tray pack* como de tómbolas del 78%, que equivalen aproximadamente a 422 minutos efectivos de trabajo, dejando claro que este porcentaje es un estimado, pero proporcionalmente indica donde está el cuello de botella.

Gráfico 27: Porcentaje efectivo de trabajo



Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por Software Arena

En cuanto a los elementos “ineficientes” podemos encontrar a las tapadoras, ya que actualmente la línea cuenta con siete tapadoras que se encargan de llenar las cajas con las bandejas en los *tray pack*, de acuerdo a los datos entregados por la simulación es un tiempo efectivo de trabajo muy bajo de aproximadamente un 26%, que equivalen a 2,34 horas.

El caso de la selección es un caso especial, debido a que ellas están constantemente eliminando fruta del proceso, sin embargo en la simulación se elimina un porcentaje de fruta en función de los datos y no se puede determinar aproximadamente la utilización y definir como cuello de botella ya que ellas solo eliminan la fruta de baja calidad que ven en la línea y la que no pueden ver simplemente pasa para ser eliminada en el proceso de embalaje. Lo que significa que su tiempo de utilización es el más alto, pero que sin embargo no limitan la producción directamente, pero si influyen en que hay más trabajo para las embaladoras, el real cuello de botella.

Analizando la producción diaria, en la Tabla 15 se observa la producción promedio diaria por variedad (a pesar de que la variedad gala es la que importa, se quiere mostrar una visión más general en este parte) entregada por el modelo de simulación, que se asemeja a la producción diaria real promedio mensual, que se obtiene de datos entregados por la empresa.

Tabla 15: Producción real aproximada v/s producción simulada por variedad

Variedad	Producción diaria real aproximada (kilogramos/turno)	Producción simulada (kilogramos/turno)
Gala	73.314kg	68.249kg
Fuji	65.750kg	68.519kg
Granny Smith	44.517kg	44.494kg
Cripps Pink	65.336kg	65.293kg
Rojas	51.171kg	53.597kg
Braeburn	54.675kg	66.393kg

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por FRUTASOL y software Arena

Como diagnóstico que se puede hacer en función de los resultados arrojados por el modelo, la línea actualmente puede aumentar su producción, pues cuenta con los recursos humanos y

de equipos para aumentar más la producción diaria, sin la necesidad de sobre exigir a sus trabajadoras.

9.2 Realización de experimentos

La idea en este punto es realizar algunos experimentos para poder mejorar la eficiencia de la línea de manzanas, lo cual se logra mediante modificaciones en el modelo simulado, ya sea eliminando procesos, agregando o quitando recursos, modificar tiempos, entre otros. Lo central es mejorar los tiempos ineficientes encontrados analizando la información que entregó la empresa.

La realización de los experimentos se limita a capacidades, tanto de los recursos como de los espacios físicos, relacionados a la instalación por ejemplo de más puestos de trabajo, y servirán para que la empresa tome decisiones.

9.2.1 Eliminar los cambios de variedades y de productor a través de un plan de producción y eliminación de las fallas del calibrador

En promedio hay cambios de variedad y/o de productor diarios entre un mínimo de uno a cuatro como máximo, en los cuales hay tiempos de no producción, la idea de un plan de producción consistirá en evitar que durante los turnos se realicen dichos cambios que generan detenciones y tiempos no productivos. Además se pretende eliminar las fallas que se producen en el calibrador de manzanas, ya que no son muy frecuentes, pero son tan complejas de solucionar que lleva a veces hasta horas corregir el problema.

Para verificar la real conveniencia de esta propuesta no solo se tomará la variación de la producción, sino que también se verificará el costo asociado a los cambios en función del tiempo de ocio de la línea, el cual se puede relacionar también con el aumento de los costos por la implementación de la propuesta, ya sea realizar un plan de producción y la contratación de un nuevo mecánico.

En la Tabla 16 se puede apreciar la variación de la producción eliminando los tiempos de desperdicio de cambio de variedad, productor y fallas del calibrador, el cual posee un valor de un 17% aproximadamente de aumento por turno.

Tabla 16: Variación de la producción eliminando los tiempos de desperdicio de cambio variedad y fallas del calibrador

Variedad	Real (promedio)	Experimento	Variación
Galas	73.314 kg	85.824 kg	17%

Fuente: Elaboración propia

Si multiplicamos el costo del kilo de manzana el cual se avalúa en promedio de \$160 por el aumento de la producción se obtienen beneficios de \$2.001.600. Se pretende realizar la comparación de las ganancias en función del tiempo no productivo, producto de las detenciones. Como no se manejan valores precisos completos de la línea se realiza una tabla de cuanto salen los minutos de tiempo no productivo función de los gastos diarios de la línea, lo que permitirá determinar hasta qué punto es conveniente esta propuesta, pero es necesario calcular previamente el tiempo no productivo sin la propuesta.

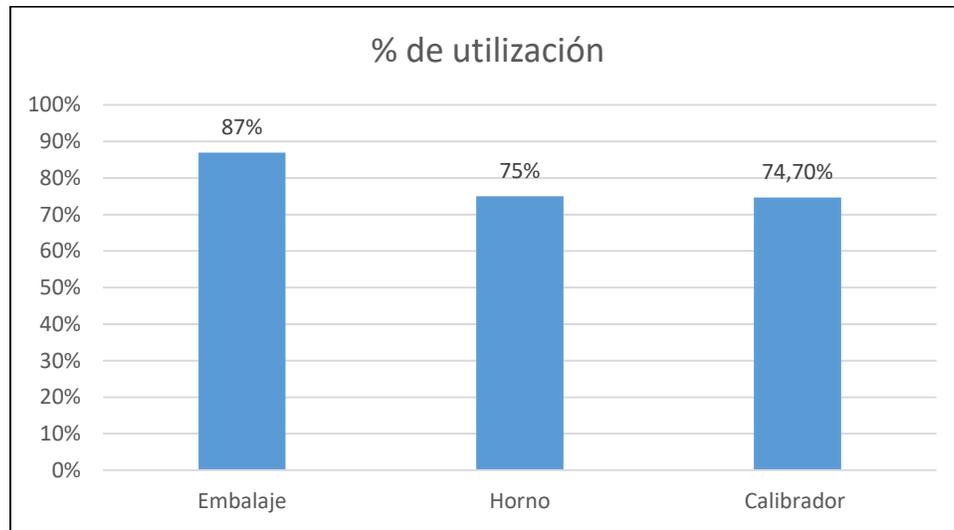
Como se explicó anteriormente el tiempo efectivo de trabajo actual equivale a 422 minutos, con la propuesta este tiempo aumenta a 492 minutos, por lo que el tiempo no productivo que generan las detenciones equivale a 70 minutos promedio diarios. En el Anexo 25 se aprecian estos valores y algunos costos posibles de la línea, (los cuales no se conocen exactos debido a temas de confidencialidad de la empresa) para identificar si es conveniente o no esta propuesta.

Para entender la tabla del Anexo 25 se explicará un caso: por ejemplo si en la línea se gasta \$1.000.000 diario, eso lo dividimos en los 540 minutos de tiempo de trabajo, lo que entrega un valor aproximado de \$1.852 por minuto, lo cual se multiplica por el tiempo no productivo que son 70 minutos y así se puede determinar el costo asociado a este tiempo que se genera si no se implementa la propuesta, si el valor encontrado es igual a la ganancia obtenida, esto indica que se está gastando mucho y que la ganancia no se vería reflejada, lo cual no sería conveniente la mejora, y lo más adecuado es seguir funcionando normalmente.

Otra forma de entender la tabla es a través de la relación beneficio/costo. Si dividimos el beneficio que entrega la propuesta por el costo del tiempo no productivo, tenemos la relación beneficio/costo, si es mayor a uno es conveniente la propuesta, sino, es preferible seguir funcionando como se está actualmente.

Con este aumento de la producción se ve afectado el porcentaje de utilización de los principales recursos de la línea, en el Gráfico 28 se pueden apreciar los valores, los cuales comparados con la utilización inicial aumentan su valor, lo cual es conveniente pues se están aprovechando de mejor forma los recursos de la empresa.

Gráfico 28: Utilización de los principales recursos de la línea con propuesta de eliminación tiempos muertos de cambio de productor y fallas del calibrador



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la simulación

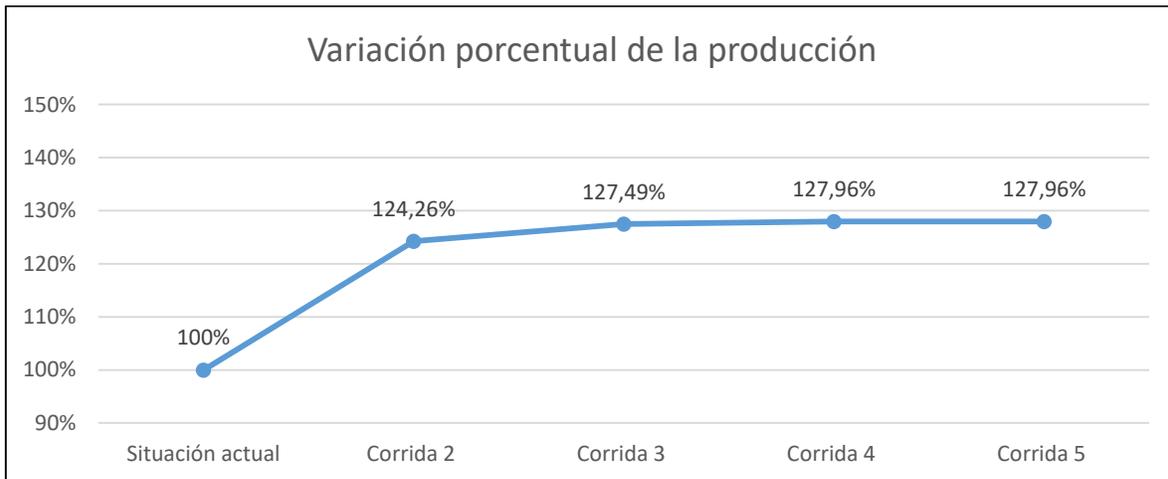
9.2.2 Trabajar a la capacidad instalada en embalaje tray pack

Este experimento consiste en ver la mayor cantidad de producción diaria que se puede alcanzar si se trabaja a la capacidad instalada de los *tray pack*. En primera instancia se determinará cual es la producción máxima que se puede alcanzar si no existiese la limitante de la capacidad de los *tray pack*.

Como se mencionó anteriormente el cuello de botella corresponde al proceso de embalaje, por lo tanto la máxima capacidad de la línea será limitada por este proceso. Lo más factible es verificar cuando se alcanza el 100% de utilización, sin embargo estos tiempos están con un margen de error por las modificaciones, por lo que se utilizará como referencia la cantidad de cajas que salen del proceso, ya que va a ver un punto en el cual la producción no variará en grandes proporciones o simplemente no cambiará, dándose alguno de estos casos se podrá ver cuánto es el aumento porcentual máximo de *bins* que pueden ingresar a proceso.

En el Gráfico 29 se pueden observar las variaciones porcentuales del aumento de la producción, el cual dice que la máxima producción diaria puede alcanzar un 27,5 % más de lo que actualmente se procesa, esto es utilizando el 100% de tiempo del trabajo, lo cual es imposible ya que durante el transcurso del día la producción baja por el cansancio, este valor es la situación ideal. Estos valores se obtienen variando la cantidad de fruta que ingresa al sistema, es decir, la cantidad de *bins* diarios.

Gráfico 29: Porcentaje de la producción máxima que se puede alcanzar idealmente



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo este porcentaje de aumento, como se dijo anteriormente no considera la capacidad de los *tray pack*, ya que estos pueden alcanzar un cierto nivel de fruta de aproximadamente 190 kilogramos/hora (capacidad instalada), por lo cual no es posible alcanzar tal nivel de producción. Si llevamos esta capacidad al total de embaladoras que son 33 y al total de horas del turno que son nueve, podemos calcular que la máxima capacidad de cajas que se pueden producir en los *tray pack* equivale a un aumento de solo un 18,8% de lo que se procesa realmente, que equivale a 56.430 kilos/hora. En cuanto a las tómbolas, del total de cajas procesadas de aquí salen aproximadamente un 34% del total (sin considerar la capacidad), que equivale a 30.630 kilos/hora. En la Tabla 17 se aprecia una comparación de la situación inicial con la propuesta, lo que equivale a un aumento máximo de un 18,76%.

Tabla 17: Comparación kilos diarios de producción

Kilogramos procesados diarios originales del modelo	Kilogramos procesados propuesta diarios capacidad embalaje
73.314kg	87.060kg

Fuente: Elaboración propia

Si se utilizan estos datos y se comparan con datos reales de esta variedad de fruta, es posible verificar un ahorro de producción. En la Tabla 18 se pueden apreciar los kilogramos reales de una temporada que corresponde a la producción promedio del mes de marzo, a su lado están los kilogramos que se pueden procesar si se trabaja a la máxima capacidad de embalaje, utilizando para su cálculo el porcentaje de aumento mencionado anteriormente.

Tabla 18: Comparación aumento de producción escenario real

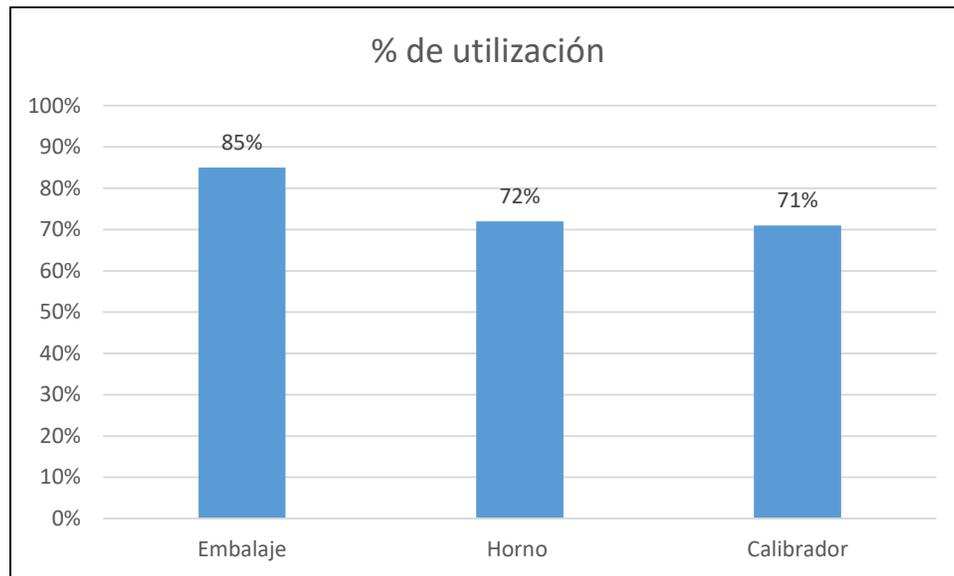
Kilogramos procesados diarios real	Kilogramos procesados diarios propuesta
66.240kg	78.163kg

Fuente: Elaboración propia

La información indica que para esta cantidad promedio de kilogramos diarios procesados de esta variedad, se necesitaron 19 días de trabajo, con esta propuesta como la producción diaria aumenta, se necesitaran menos días para procesar la misma cantidad de fruta, los cuales para este caso serán solo de aproximadamente 16 días, lo que implica una reducción de los costos por esta variedad de un 15,8% durante el mes de marzo.

En el Gráfico 30 se puede apreciar cómo se ven afectados los principales recursos de la línea con esta propuesta, para este caso el cuello de botella sigue siendo el proceso de embalaje, pero la utilización es mayor para todos los recursos, pero se sigue manteniendo la tendencia de la diferencia entre embalaje con el calibrador y el horno se secado.

Gráfico 30: Utilización de los principales recursos de la línea con propuesta de trabajar a la capacidad instalada de los tray pack



Fuente: Elaboración propia

9.2.3 Aumentar en cinco la cantidad de tray packs y trabajar a la capacidad de embalaje

Los *tray pack* corresponden a los lugares donde las embaladoras realizan su labor de embalaje de las manzanas. Actualmente la empresa cuenta con 33 de estos lugares, y quieren ver la posibilidad al corto plazo si es o no conveniente la instalación de al menos cinco nuevos *tray pack*. Para comprobar esta alternativa es necesario ver cuánto aumenta la producción y cuánto debe ser la inversión aproximada para este fin, de esta forma determinar si es factible económicamente esta propuesta.

En primer lugar se debe modificar el modelo agregando estos cinco *tray packs* con sus respectivos módulos, estaciones y todo lo necesario. Después es necesario modificar las distribución de entrada ya que como son más trabajadoras, la fruta original va ser muy poca y habrá mucho tiempo no productivo, para lo cual se prueban diferentes tiempos entre arribos, los cuales se dejarán como constantes y no como una distribución. Probando valores, la máxima producción que se puede alcanzar se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19: Producción inicial v/s producción propuesta de mejora

Situación inicial modelo (kilos/turno)	Situación aumento tray pack (kilos/turno)	Variación porcentual
73.314	91.440	24,70%

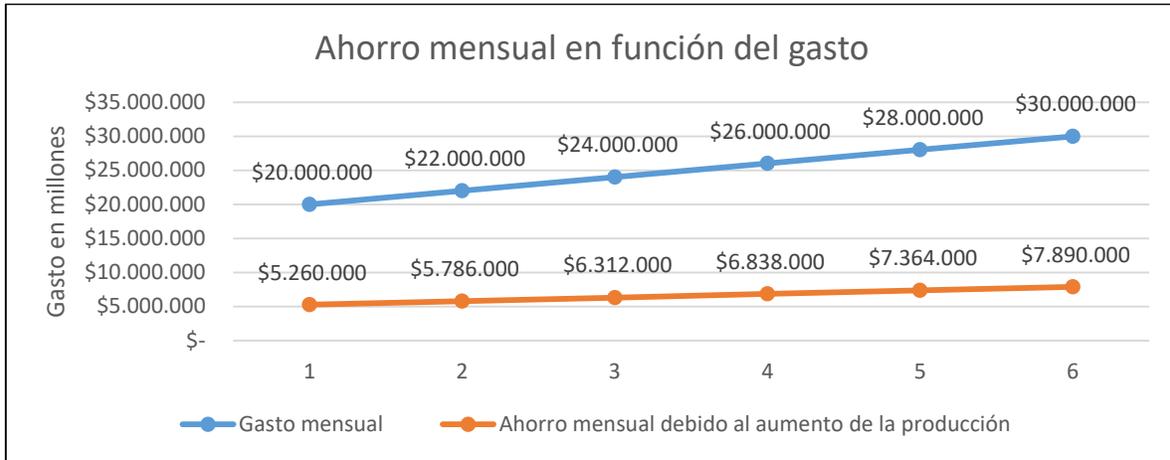
Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por el software Arena

Esta nueva producción significa un aumento del 24,7% en comparación con la producción inicial, lo que se traduce en un aumento de los ingresos de \$2.900.160 diarios, de esta forma se puede verificar y comparar con valores de inversión y nuevos sueldos que se debe pagar en función de la inversión, es decir que si todo sale menos de \$58.003.200 mensuales, la inversión se recupera a lo más en un mes.

Sin embargo la empresa no trabaja con producción infinita, sino que por temporada por lo cual este caso no es muy aplicable, lo mejor es considerar cuanto se ahorra mensualmente en función del aumento de la producción diaria y por ende en la disminución de los días trabajados, por ejemplo, durante el mes de marzo el total procesado fue de 1.258.506 kilogramos de esta variedad, la cual tomo 19 días procesarla. Con una mayor cantidad de tray pack estos 19 días se reducen a aproximadamente 14 días, lo que implica en términos porcentuales a una disminución del gasto de ese mes en un 26,3%.

Si se quiere determinar cuánto es el ahorro que se genera, en el Gráfico 31 se puede apreciar un rango del gasto mensual que posee la empresa, el cual no se entrega en detalle debido a la confidencialidad de estos costos. La línea de color azul representa los gastos de la empresa y la línea naranja representa el ahorro, calculado a través del porcentaje encontrado anteriormente. Ambas líneas evidentemente presentan una tendencia ascendente, pues a mayor gasto mayor ahorro.

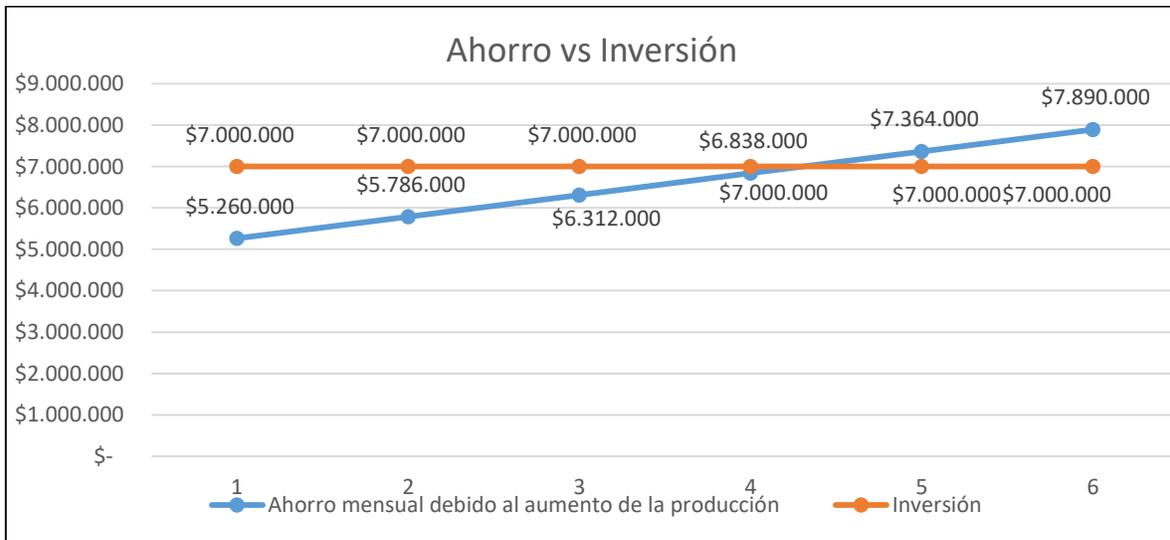
Gráfico 31: Ahorro mensual con la propuesta



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, si se desea verificar por ejemplo si es conveniente dicha propuesta, se deben ver los factores de inversión y el retorno de dicha inversión. En el Gráfico 32 se puede apreciar un valor aproximado de la inversión que se debe realizar, ya sea de compra de los tray pack, instalación, entre otros, la cual corresponde a la línea naranja del gráfico, y la azul del ahorro. Si la línea de inversión está por sobre la de ahorro, esto quiere decir que la inversión se recupera en más de un mes, caso contrario, si la línea de inversión está por debajo de la línea de ahorro esto indica que la inversión se puede recuperar antes de un mes.

Gráfico 32: Comparación del ahorro con la inversión

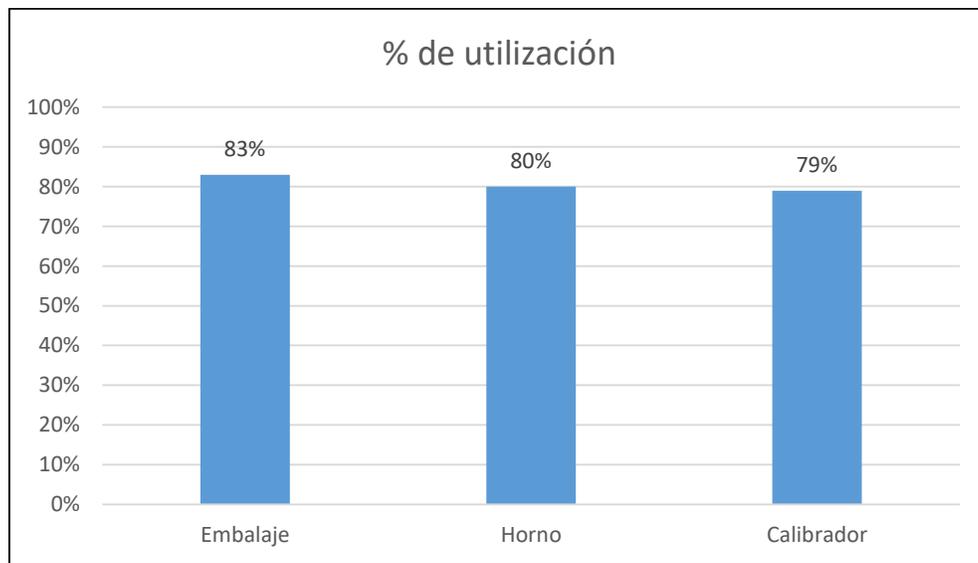


Fuente: Elaboración propia

Lo ideal sería haber realizado un flujo de caja en esta propuesta, sin embargo por falta de información exacta, no se pudo concretar. El gráfico anterior posee un rango pequeño de datos para calcular el ahorro que se genera, sin embargo en el Anexo 26 se presenta una tabla con valores más extensos, en caso de que la gráfica anterior este por fuera de nuevos rangos.

Finalmente con esta propuesta la utilización de los principales recursos de la línea presentan una diferencia con las demás propuestas, en este caso, como se puede apreciar en el Gráfico 33 la utilización de los recursos es similar, bordeando el 80% lo cual indica que esta propuesta genera un proceso balanceado, donde todos los recursos se utilizan prácticamente a la misma capacidad, destacando que al igual que en las demás propuestas el cuello de botella sigue siendo el proceso de embalaje.

Gráfico 33: Utilización de los principales recursos de la línea con la propuesta de aumentar cinco tray packs



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES DE LAS PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones de las propuestas presentadas anteriormente para determinar si alguna es más conveniente que otra para la empresa y finalmente se darán algunas recomendaciones en caso de trabajos futuros similares y de lo encontrado finalmente con este proyecto

10 Análisis de las propuestas y recomendaciones

Una vez presentadas las propuestas es necesario verificar la cual es la mejor alternativa, en función de las condiciones actuales de la empresa. Además se pretende dar algunas recomendaciones de acuerdo a lo visto personalmente en la empresa, a los resultados y en caso de futuros proyectos similares, en que mejorar.

10.1 Análisis de las propuestas

Con las propuestas ya realizadas ahora cabe la pregunta de cuál es mejor de implementar, de cierta forma todas entregan beneficios pero en magnitudes distintas y con diferentes resultados. Para esta decisión además de considerar los resultados, también es conveniente ver la situación de la empresa. Analizando todos estos puntos, la opción uno es la menos factible, pues la cantidad de productores y variedades hará difícil realizar un plan de producción adecuado, además de que muchos clientes hacen pedidos de improviso, lo que hace indispensable cambiar la variedad si no se quiere perder al cliente. Sin embargo realizar un proyecto centrado en estos cambios de productor a largo plazo es posible de realizar.

En cuanto a la segunda opción de trabajar a la capacidad instalada de los *tray packs*, es una propuesta que no requiere de grandes cambios de la planta, solo mayor cantidad de fruta en la línea, por lo cual es una propuestas fácil de implementar que genera buenos resultados. En caso de la opción tres, ver los resultados adecuados depende de cierta forma de los costos involucrados en inversión y gastos mensuales, por lo cual no se puede decidir a ciencia cierta si es adecuada, pero si lo puede decidir la empresa.

En resumen la opción dos es la más adecuada en primer lugar, siempre y cuando la alternativa tres genere mejores resultados que la alternativa dos en función de los costos de la empresa y que tanto dinero están dispuestos a gastar.

10.2 Recomendaciones

Si bien la empresa cuenta con bastante información para la realización de este proyecto, tiene falencias que son importantes de destacar y que pueden servir para la realización de futuros proyectos similares.

Debe existir un mayor manejo de información de los equipos presentes en la línea, ya que no poseen información acerca de la velocidad con la que operan algunas cintas y no manejan información de los equipos, como dimensiones, capacidades reales, etc., solo datos aproximados, eso es en cuanto a información indispensable para cualquier trabajo.

Como recomendaciones de mejor se pueden desarrollar planes de mantenimiento de los equipos, principalmente del calibrador, que a pesar de tener pocas fallas su tiempo de reparación es demasiado alto, con un plan de mantenimiento preventivo bien elaborado se pueden eliminar dichas fallas. Otro tema es analizar la cantidad de tapadoras presentes en la línea, quizás son demasiadas y no le conviene económicamente a la empresa.

Puntos a favor es que se lleva un registro bastante detallado de todo lo que pasa en la línea, pasando por cantidad de producción, tiempos de detenciones, por qué se produjeron, cantidad de fruta de desecho, comercial, pre-calibre por día que se obtiene, entre otros, lo que facilitó mucho la elaboración del proyecto.

CONCLUSIÓN

Actualmente la empresa, a pesar de sentirse un poco ineficiente en su proceso de packing, está a la par con sus similares del mismo rubro e incluso en algunos casos mejor. Sin embargo querer mejorar aún más la eficiencia en la línea la hace una empresa a destacar, ya que continuamente están buscando mejorar, y las empresas que poseen esa iniciativa son las que prosperan a través del tiempo.

La disposición de la empresa para aceptar a alumnos para que aporten nuevas ideas y poner a disposición del alumno lo que se necesite para la realización del proyecto es importante de mencionar. La facilitación de información por parte del Jefe de Packing Don Carlos Rojas y en algunas oportunidades por Macarena Rozas del departamento de control de gestión fue de gran ayuda para la realización de este trabajo.

Como la empresa misma exporta sus productos, esta integración vertical hacia adelante le permite mantener un mayor control de este proceso y de los recursos que se asignan a esta área, ya que dependen de sí mismos en la correcta realización de este proceso, que a su vez es el más importante por los gastos involucrados.

Cabe mencionar que sin la ayuda de CETLOG, quien fuese el medio de contacto, no hubiese existido este proyecto en la empresa. CETLOG se dedica a ayudar a PYMES y empresas de la región del Maule a mejorar sus procesos y que se fortalezcan en su rubro. Comúnmente CETLOG tiene sus propios miembros que se dedican a esta labor, sin embargo para esta ocasión se ofreció ese trabajo a alumnos memoristas, que cabe destacar era la primera vez que esta organismo trabajaba con alumnos, la idea era dar la oportunidad a aquellos alumnos que no tenían disponible alguna empresa para sus trabajos.

En lo que concierne netamente a la realización del proyecto, el marco teórico fue de gran ayuda ya que sirvió como guía de cómo abordar el trabajo, que con la ayuda del profesor guía Sergio González quien constantemente aconsejaba de los elementos necesarios para este marco teórico y no solo de esta parte sino de todo el proyecto. Realizar un marco teórico permite conocer más extensamente temas que antes se abordaban superficialmente, como lo es el análisis de datos, validación de modelos, muestreo, simulación, entre otros.

Conocer en detalle el proceso productivo y realizar un correcto diagrama de este proceso, facilita mucho la elaboración de la simulación y permite considerar el proceso completo sin dejar nada excluido. La toma de datos es sin duda la tarea que más tiempo demanda y la más importante, ya que un erróneo muestreo de datos puede provocar que el modelo no sea representativo de la realidad.

La gran variabilidad del proceso lo hace difícil de modelar a la perfección, las diferentes variedades de fruta con diferentes características, las diferentes calidades, el tipo de embalaje, la fruta que se pierde en cada proceso, todo esto depende de gran medida del tipo de manzana y las condiciones, ya que algunas veces puede venir fruta de muy buena calidad y en otras ocasiones fruta de muy baja calidad.

El uso de algunas herramientas fue algo nuevo, como el caso de las tablas MTM, ya que nunca antes se habían usado, y sirvieron bastante para algunos procesos, a que permitían comprar el rango donde debiesen moverse los datos reales.

La elección del software para llevar a cabo la simulación fue por descarte, pues era el más asequible, sin embargo contar con la licencia fue algo complicado, lo que produjo que la simulación se llevará a cabo en un corto periodo de tiempo. Además las limitaciones de mismo software y las limitaciones computacionales del PC hicieron que el modelo como se pensó originalmente no pudiese llevarse a cabo, realizando modificaciones en más de una ocasión y probando diferentes alternativas para no alterar en demasía el proceso real.

Otra parte importante del proyecto fue la validación del modelo a través de hipótesis estadísticas, se manejaban ciertos conceptos de este tema, sin embargo durante la realización de este proyecto se vio más en detalle, y se pudo entender en mayor profundidad como funciona este proceso de validación. Es importante este proceso, pues aquí se decide si el modelo está correcto y representa la realidad de la línea productiva.

Finalmente se propusieron alternativas de mejoras, para aumentar la eficiencia productiva, ya que el objetivo era detectar falencias que no permitían la eficiencia operacional de la línea (cuellos de botella) ya que esta podía dar más producción de la que

entregaba diariamente. Estas alternativas las cuales son más bien medidas a corto plazo permitirán ser más eficientes con los recursos de la organización.

Desarrollar este proyecto es sin duda un desafío en donde es posible aplicar los conocimientos adquiridos durante el periodo universitario. No fue fácil debido a la gran cantidad de información con la que se debía contar pero principalmente por no contar con el software computacional a tiempo y todas las limitaciones tanto del software como computacionales, sin embargo es una experiencia satisfactoria que permite conocer más en detalle cómo funcionan las organizaciones en su conjunto y más específicamente cómo funciona un proceso productivo real.

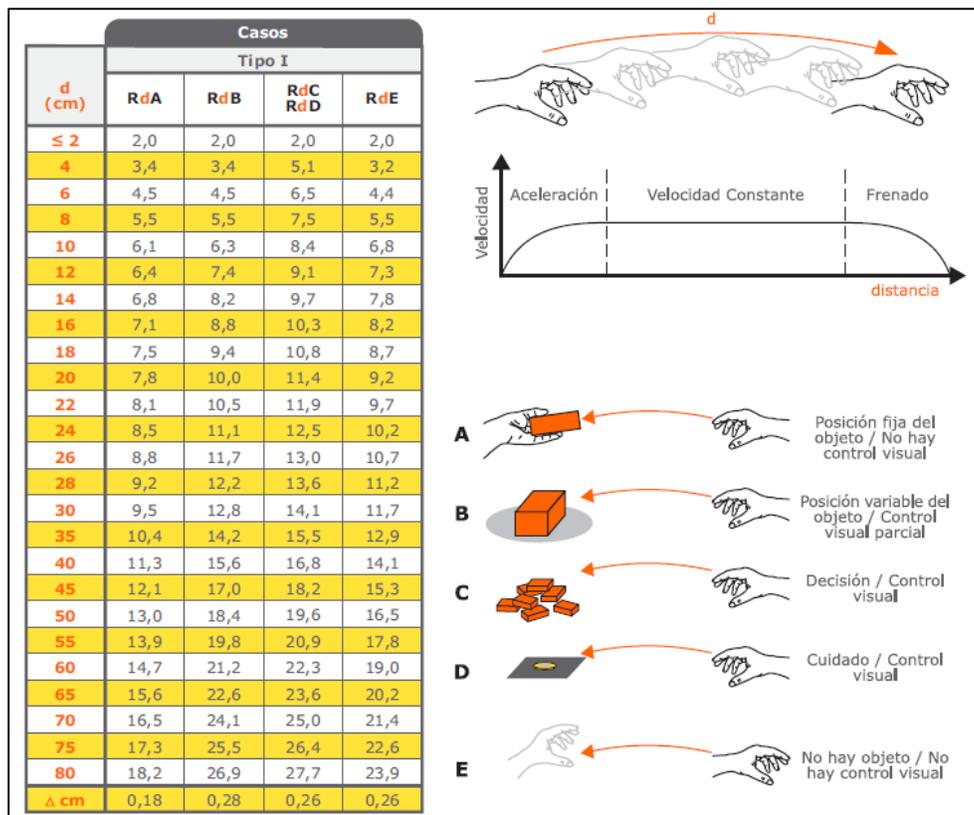
ANEXOS

Anexo 1: Tabla para el cálculo del número de observaciones

TABLA PARA CALCULO DEL NUMERO DE OBSERVACIONES					
R/X	5	10	R/X	5	10
0	0	0	0.48	68	39
0.01	1	1	0.50	74	42
0.02	1	1	0.52	80	46
0.03	1	1	0.54	86	49
0.04	1	1	0.56	93	53
0.05	1	1	0.58	100	57
0.06	1	1	0.60	107	61
0.07	1	1	0.62	114	65
0.08	1	1	0.64	121	69
0.09	1	1	0.66	129	74
0.10	3	2	0.68	137	78
0.12	4	2	0.70	145	83
0.14	6	3	0.72	153	88
0.16	8	4	0.74	162	93
0.18	10	6	0.76	171	98
0.20	12	7	0.78	180	103
0.22	14	8	0.80	190	108
0.24	13	10	0.82	199	113
0.26	20	11	0.84	209	119
0.28	23	13	0.86	218	126
0.30	27	15	0.88	229	131
0.32	30	17	0.90	239	138
0.34	34	20	0.92	250	143
0.36	38	22	0.94	261	149
0.38	43	24	0.96	273	156
0.40	47	27	0.98	284	162
0.42	52	30	1.00	296	169
0.44	57	33	1.02	303	173
0.46	63	36	1.04	313	179

Fuente: (López B. S., Ingeniería Industrial, 2016)

Anexo 2: Tabla micromovimiento alcanzar



Fuente: (MTM Ingenieros, 2013)

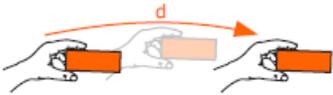
Anexo 3: Tabla micromovimiento coger

 Cerrando los dedos sobre el objeto	G1A	2,0		
	G1B	3,5		Sección <3*3 mm
	G1C1	7,3		Ø > 12 mm
	G1C2	8,7		6 mm < Ø ≤ 12 mm
	G1C3	10,8		Ø ≤ 6 mm
	G3	5,6		G1A + 1,6 + RL 1
	G4A	7,3		l > 25*25*25 mm
	G4B	9,1		l ≤ 25*25*25 mm > 6*6*3 mm
	G4C	12,9		l < 6*6*3 mm
 Por contacto	G5	0,0		
 Volver a coger	G2	5,6	Teoría RfA + MfB + (RfA)	

Fuente: (MTM Ingenieros, 2013)

Anexo 4: Tabla micromovimiento mover

d (cm)	Casos		
	Tipo I		
	MdA	MdB	MdC
≤2	2,0	2,0	2,0
4	3,1	4,0	4,5
6	4,1	5,0	5,8
8	5,1	5,9	6,9
10	6,0	6,8	7,9
12	6,9	7,7	8,8
14	7,7	8,5	9,8
16	8,3	9,2	10,5
18	9,0	9,8	11,1
20	9,6	10,5	11,7
22	10,2	11,2	12,4
24	10,8	11,8	13,0
26	11,5	12,3	13,7
28	12,1	12,8	14,4
30	12,7	13,3	15,1
35	14,3	14,5	16,8
40	15,8	15,6	18,5
45	17,4	16,8	20,1
50	19,0	18,0	21,8
55	20,5	19,2	23,5
60	22,1	20,4	25,2
65	23,6	21,6	26,9
70	25,2	22,8	28,6
75	26,7	24,0	30,3
80	28,3	25,2	32,0
Δ cm	0,3	0,2	0,3



A Mover el objeto a la otra mano o contra un tope.



B Mover el objeto a una posición aproximada o indefinida



C Mover el objeto a una posición exacta



Mover con esfuerzo: Md caso PNE		
PNE hasta	Fd	Ce (SCPNE)
1	1,00	0,0
2	1,04	1,6
4	1,07	2,8
6	1,12	4,3
8	1,17	5,8
10	1,22	7,3
12	1,27	8,8
14	1,32	10,4
16	1,36	11,9
18	1,41	13,4
20	1,46	14,9
22	1,51	16,4

Md caso PNE = Md caso * Fd + Ce

Manos	PNE
1	P*Fc
2	P/2*Fc

Movimiento	Fc	
Espacial	1	
Deslizante	Madera	0,4
	Metal sobre metal	0,3

PNE: Resistencia encontrada por una mano al movimiento
Fd: Factor dinámico
Ce: Constante estática
P: Peso del objeto movido
Fc: Coeficiente de fricción

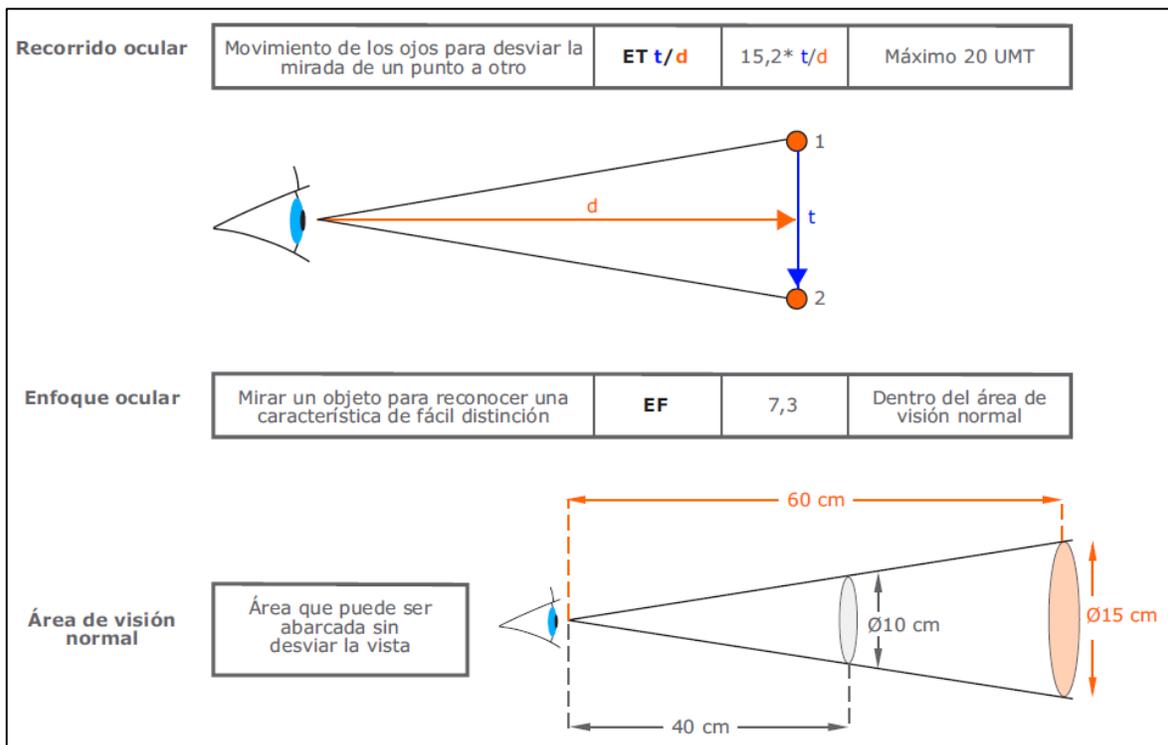
Fuente: (MTM Ingenieros, 2013)

Anexo 5: Tabla micromovimiento soltar

	Soltar separando los dedos como movimiento independiente	RL1	2,0
	Soltar el contacto	RL2	0,0

Fuente: (MTM Ingenieros, 2013)

Anexo 6: Tabla micromovimiento movimientos oculares



Fuente: (MTM Ingenieros, 2013)

Anexo 7: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Gala

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Gala					
1,67	0,75	0,81	0,97	0,72	1,05
1,79	0,81	0,89	2,3	0,87	1,76
0,77	0,97	0,68	0,9	1,1	0,81
0,96	0,74	1,5	2	0,89	1,12
0,82	0,9	0,86	2,06	1,7	0,99

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Fuji

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Fuji					
0,9	2	0,94	1,34	1,12	0,89
0,77	2,1	0,82	1,1	2	0,96
0,79	0,56	1,43	2	1,06	0,63
1,14	1	0,67	2,4	0,94	1,06
1,14	1	0,67	0,82	2,3	1,06

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Granny Smith

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Granny Smith					
1,17	0,75	0,9	1,02	0,72	2,1
0,42	1,25	0,78	2,01	0,82	0,75
1,34	2	1,51	1,3	2,4	1,36
1,97	0,71	1,78	1,74	2	1,88
2	1,30	1,45	2	2	0,89

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Cripps Pink

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Cripps Pink					
1,03	2,4	1,06	0,87	1,02	1,87
1,09	1,2	1,7	1,08	0,95	1,25
1,2	0,88	2,08	0,78	1,09	1
1,2	1,98	0,72	1,16	1	3,1
1,1	0,89	0,98	1,56	0,9	1,6

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Rojas

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Rojas					
1,35	2,23	1,62	1,65	1,30	2,20
1,34	1,44	1,71	1,98	0,95	2,46
3,20	2,40	2,60	3,11	2,10	1,45
1,28	1,16	2,00	1,34	1,34	2,44
1,17	1,25	2,00	0,98	1,67	1,00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Muestreo preliminar llenado de bandejas variedad Braeburn

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Braeburn					
1,06	3,6	1,01	1,84	0,93	0,88
1	2,45	0,91	1	0,98	1
1,09	0,9	0,88	1,01	1,08	1,03
2	1	0,91	1,08	0,79	1
1,02	0,93	1,01	0,77	0,84	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13: Muestreo preliminar llenado de cajas con bandejas y tapado de cajas

Tiempo de llenado de cajas con bandejas y tapado de cajas en minutos					
0,38	0,37	0,48	0,40	0,40	0,47
0,50	0,37	0,38	0,30	0,38	0,29
0,34	0,4	0,43	0,37	0,33	0,4
0,29	0,37	0,37	0,31	0,4	0,39
0,41	0,40	0,42	0,40	0,37	0,38

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Gala

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Gala					
2,50	3,23	3,65	3,81	2,00	4,34
2,03	2,00	3,56	5,00	2,00	3,19
4,26	1,99	3,97	2,85	2,06	4,98
2,34	4,22	3,45	3,12	2,00	3,40
4,41	3,87	3,78	3,45	3,67	2,34

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Fuji

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Fuji					
3,68	4,05	4,62	3,68	3,52	4,91
3,38	4,97	2,98	3,00	4,49	4,31
3,33	4,80	2,45	2,67	4,06	3,56
3,07	4,04	2,71	3,22	2,12	3,95
2,00	3,43	1,89	2,21	2,30	2,40

Fuente: Elaboración propia

Anexo 16: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Granny Smith

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Granny Smith					
3,60	2,90	3,80	3,12	4,30	4,60
3,57	1,80	2,23	1,87	2,86	2,54
3,78	4,38	3,29	4,35	3,05	1,90
5,80	4,76	2,77	3,88	4,30	2,89
3,67	4,53	2,87	4,07	1,98	3,19

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Cripps Pink

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Cripps Pink					
4,08	2,00	3,79	3,12	4,15	4,12
3,99	4,00	4,11	3,78	4,06	4,00
3,90	3,05	4,18	3,88	2,12	3,99
4,08	2,67	3,82	2,00	3,87	2,78
1,99	3,90	2,50	4,01	6,23	3,72

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Roja

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Rojas					
2,37	2,79	4,10	4,64	2,55	3,96
2,10	5,70	2,72	4,16	2,00	3,81
2,06	4,78	4,39	2,85	4,65	3,08
5,70	3,34	4,16	2,45	3,70	3,35
5,00	4,35	4,51	1,87	3,14	4,00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 19: Muestreo preliminar llenado de cajas en tómbolas variedad Braeburn

Tiempo de llenado de bandejas en minutos variedad Braeburn					
3,67	3,54	3,03	3,25	2,78	2,00
5,08	3,26	4,98	3,19	6,00	3,54
4,89	2,67	3,44	3,23	3,55	1,98
2,34	1,99	3,49	4,98	3,25	2,98
3,99	3,66	5,67	3,22	1,99	3,60

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20: Manzanas por minuto para determinar la cantidad de fruta comercial del proceso de embalaje

Manzanas por minuto del proceso de embalaje									
18	21	28	30	29	13	16	18	20	20
20	25	27	22	17	24	27	20	18	38
13	28	30	17	25	10	31	19	27	23
29	22	39	16	10	15	24	20	24	36
25	31	19	27	23	38	40	34	34	19
32	13	20	23	16	22	30	24	32	21
33	15	37	29	10	10	15	23	15	33
32	14	23	35	24	26	12	26	26	25
10	11	19	16	25	35	29	21	28	18
39	16	25	28	15	21	24			

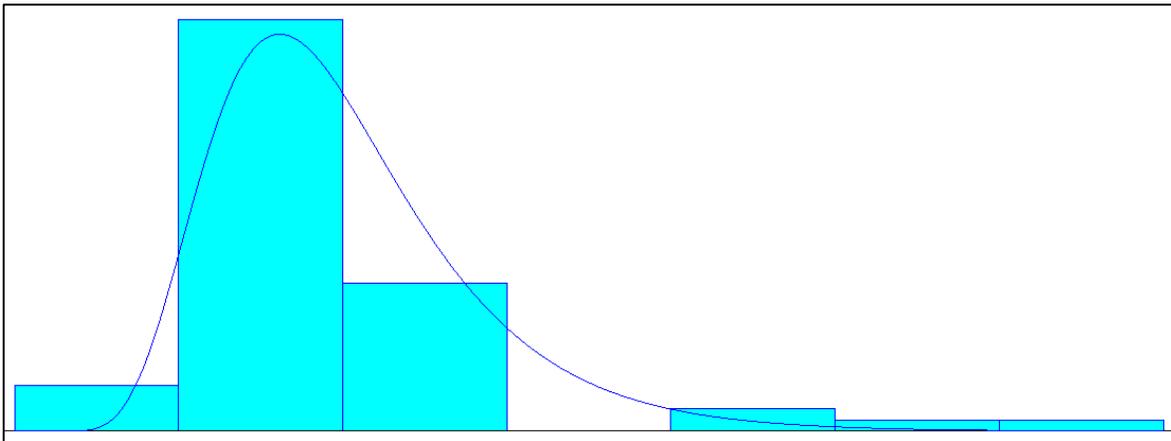
Fuente: Elaboración propia

Anexo 21: Distribución de entrada de bins temporada 2017



Fuente: Input Analyzer

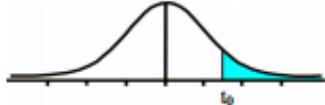
Anexo 22: Distribución de entrada de bins temporada 2018 (parte de la temporada)



Fuente: Input Analyzer

Anexo 23: Tabla t-student parte I

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

Fuente: (Aires, 2018)

Anexo 24: Tabla t-student parte II

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

Fuente: (Aires, 2018)

Anexo 25: Identificador del gasto para determinar la conveniencia de la propuesta

Gasto diario	Tiempo diario no productivo (minutos)	Tiempo diario de trabajo (minutos)	Costo tiempo diario no productivo	Ganancia diaria con propuesta	Beneficio/Costo
\$ 1.000.000	70	540	\$ 129.630	\$ 2.001.600	15,44
\$ 1.500.000	70	540	\$ 194.444	\$ 2.001.600	10,29
\$ 2.000.000	70	540	\$ 259.259	\$ 2.001.600	7,72
\$ 2.500.000	70	540	\$ 324.074	\$ 2.001.600	6,18
\$ 3.000.000	70	540	\$ 388.889	\$ 2.001.600	5,15
\$ 4.000.000	70	540	\$ 518.519	\$ 2.001.600	3,86
\$ 5.000.000	70	540	\$ 648.148	\$ 2.001.600	3,09
\$ 6.000.000	70	540	\$ 777.778	\$ 2.001.600	2,57
\$ 6.500.000	70	540	\$ 842.593	\$ 2.001.600	2,38
\$ 7.000.000	70	540	\$ 907.407	\$ 2.001.600	2,21
\$ 7.500.000	70	540	\$ 972.222	\$ 2.001.600	2,06
\$ 8.000.000	70	540	\$ 1.037.037	\$ 2.001.600	1,93
\$ 8.500.000	70	540	\$ 1.101.852	\$ 2.001.600	1,82
\$ 9.000.000	70	540	\$ 1.166.667	\$ 2.001.600	1,72
\$ 10.000.000	70	540	\$ 1.296.296	\$ 2.001.600	1,54
\$ 11.000.000	70	540	\$ 1.425.926	\$ 2.001.600	1,40
\$ 12.000.000	70	540	\$ 1.555.556	\$ 2.001.600	1,29
\$ 13.000.000	70	540	\$ 1.685.185	\$ 2.001.600	1,19
\$ 14.000.000	70	540	\$ 1.814.815	\$ 2.001.600	1,10
\$ 15.000.000	70	540	\$ 1.944.444	\$ 2.001.600	1,03
\$ 16.000.000	70	540	\$ 2.074.074	\$ 2.001.600	0,97

Fuente: Elaboración propia

Anexo 26: Tabla indicadora del ahorro para el cálculo del retorno de la inversión

% de disminución del gasto mensual producto del aumento de la producción	Gasto mensual	Ahorro mensual debido al aumento de la producción
26,3%	\$ 10.000.000	\$ 2.630.000
26,3%	\$ 12.000.000	\$ 3.156.000
26,3%	\$ 15.000.000	\$ 3.945.000
26,3%	\$ 20.000.000	\$ 5.260.000
26,3%	\$ 25.000.000	\$ 6.575.000
26,3%	\$ 30.000.000	\$ 7.890.000
26,3%	\$ 35.000.000	\$ 9.205.000
26,3%	\$ 40.000.000	\$ 10.520.000
26,3%	\$ 45.000.000	\$ 11.835.000
26,3%	\$ 50.000.000	\$ 13.150.000
26,3%	\$ 55.000.000	\$ 14.465.000
26,3%	\$ 60.000.000	\$ 15.780.000
26,3%	\$ 65.000.000	\$ 17.095.000
26,3%	\$ 70.000.000	\$ 18.410.000
26,3%	\$ 80.000.000	\$ 21.040.000
26,3%	\$ 90.000.000	\$ 23.670.000

Fuente: Elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA

- Aires, U. d. (2018). *Departamento de matemáticas*. Obtenido de http://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2015/probabilidades_y_estadistica_C/tabla_tstudent.pdf
- AITECO. (2018). *AITECO*. Obtenido de <https://www.aiteco.com/diagrama-de-flujo/>
- Avilez, J. (2006). *Monografías*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos12/recoldat/recoldat.shtml>
- Carrasco, J. B. (2016). *Rediseño de procesos*. Santiago: Evolución S.A.
- CartaGantt. (2018). *CartaGantt*. Obtenido de <https://www.cartagantt.com/>
- EasyFit. (2018). *EasyFit*. Obtenido de http://www.mathwave.com/popup.html-topic=gof_tests&lang=es&w=500&product=easyfit
- Fórmulas, U. (2017). *Universo Fórmulas*. Obtenido de <http://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-estratificado/>
- FRUTASOL. (2018). *FRUTASOL*. Obtenido de <http://www.frutasol.cl/esp/manzana-productos.html>
- González, W. (13 de Mayo de 2009). *Recodatos*. Obtenido de <http://recodatos.blogspot.cl/2009/05/concepto-de-recoleccion-de-datos.html>
- Industrial. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/>
- Industrial, I. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/>
- Industrial, I. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/>
- Ingenieros, M. (2017). *MTM ingenieros*. Obtenido de <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-el-mtm/>
- López, A., & Valverde, J. (2018). *Monografías*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos6/mutra/mutra.shtml>
- López, B. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero->

industrial/estudio-de-tiempos/selecci%C3%B3n-del-trabajo-y-etapas-del-estudio-de-tiempos/

- López, B. (2018). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/valoraci%C3%B3n-del-ritmo-de-trabajo/>
- López, B. S. (2016). Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/>
- López, B. S. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/balanceo-de-l%C3%ADnea/>
- López, B. S. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/c%C3%A1lculo-del-n%C3%BAmero-de-observaciones/>
- MTM Ingenieros. (2013). Obtenido de <https://ingenieriaindustrialupvmtareasytrabajos.files.wordpress.com/2013/07/mtm1.pdf>
- QuestionPro. (2018). *QuestionPro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/es/analisis-de-datos.html>
- Roberto. (2018). *Course Hero*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/p7tgtmp/Estimaci%C3%B3n-Estructurada-Last%C3%A9nicas-de-estimaci%C3%B3n-estructurada-son-un-intento/>
- Ross, S. M. (1997). *Introduction to probability models*. California: Academic press.
- SPC. (2018). *SPC Group*. Obtenido de <https://spcgroup.com.mx/grafica-de-control/>