

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS
BALANCEADOS PARA AVES DE LA EMPRESA REPROAVI
CIA. LTDA. UTILIZANDO LA TEORÍA DE RESTRICCIONES**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE GRADO DE
MAGÍSTER (MSc.) EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD**

SEGOVIA TROYA CARLOS MARCELO

carlossegovia36@hotmail.com

DIRECTOR: ING. SARRADE DUEÑAS FAUSTO ERNESTO, MSc.

fausto.sarrade@epn.edu.ec

QUITO, Julio 2017

© Escuela Politécnica Nacional 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Carlos Marcelo Segovia Troya, declaro que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la ley de propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya, bajo mi supervisión.

Ing. Fausto Ernesto Sarrade Dueñas Msc
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi familia.

A los Directivos de la Empresa Reproavi Cía. Ltda., especialmente al Ing. Fabián Noboa. Al Ing. Fausto Sarrade MSc., Director de tesis, por su gran apoyo.

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi esposa Sandra, a mis hijos Juan Carlos y Ana María, que son la razón de mi vida, por quienes trabajo y me esfuerzo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Planificación de la producción	1
1.1.1 Planificación estratégica	2
1.1.2 Planificación táctica	3
1.1.2.1 Familias y productos	3
1.1.2.2 Plan agregado de producción	3
1.1.3 Planificación operativa	4
1.1.4 Planificación agregada	5
1.2 Teoría de restricciones	6
1.2.1 Tipos de restricciones	6
1.2.1.1 Restricción interna de recursos	6
1.2.1.2 Restricción de mercado	7
1.2.1.3 Restricción política	7
1.2.1.4 Mejora continua	7
1.3 Simulación de procesos industriales	11
1.3.1 Aplicaciones de la simulación de procesos industriales	11
1.3.2 Tipos de simulaciones de procesos industriales	12
1.3.3 Interfaz de las simulaciones de procesos industriales	14
1.3.4 Modelos de las simulaciones de procesos industriales	14
1.3.5 Beneficios de las simulaciones de procesos industriales	16
1.3.6 Dificultades de las simulaciones	18
1.3.7 Softwares de simulación disponibles actualmente	19
1.3.7.1 Hysys	19
1.3.7.2 Aspenplus	19
1.3.7.3 Chemcad	19
1.3.7.4 Promodel	20
1.3.7.5 Arena	20
1.3.7.6 Simnet	20
1.3.7.7 Simul8	20
1.3.7.8 Flexsim	21
1.3.7.9 Plant Simulation	21
1.3.7.10 Selección del programa de simulación	21

1.3.8 Fundamentos del software de simulación Flexsim	22
1.3.8.1 Vistas del modelo	23
1.3.8.2 Objetos utilizados para construir el modelo	25
1.3.9 Etapas del proyecto de simulación	26
1.3.9.1 Identificar el objetivo	26
1.3.9.2 Identificar el nivel de detalle	26
1.3.9.3 Determinar los procesos a incluirse	26
1.3.9.4 Crear un modelo en bruto	26
1.3.9.5 Refinar el modelo	27
1.3.9.6 Correr el modelo	27
1.3.9.7 Verificar el modelo	27
1.3.9.8 Determinar el tiempo de calentamiento	28
1.3.9.9 Explorar el modelo	28
1.3.9.10 Escoger escenarios y correr ensayos	28
2. PARTE EXPERIMENTAL	30
2.1 Descripción de la empresa	30
2.2 Descripción del equipamiento	32
2.3 Descripción del proceso de la planta	37
2.4 Método de determinación de la restricción	40
2.4.1 Definición de los objetivos y alcance	41
2.4.1.1 Objetivo general de la simulación	41
2.4.1.2 Objetivos específicos de la simulación	41
2.4.1.3 Antecedentes de la construcción del modelo	42
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1 Recolectar y analizar los datos del sistema	44
3.1.1 Análisis de los datos operativos	44
3.1.2 Análisis de los datos estructurales	52
3.1.2.1 Flow ítems	52
3.1.2.2 Fixed resources	52
3.1.2.3 Task executors	54
3.1.2.4 Network nodes	54

3.1.3	Análisis de los datos numéricos	54
3.1.3.1	Tiempo de molido de macro ingredientes	54
3.1.3.2	Tiempo de pesado y descarga de M.I.	57
3.1.3.3	Tiempo de pesado, descarga, enfundado	58
3.1.3.4	Construcción del modelo	65
3.1.3.5	Validación del modelo	70
3.1.3.6	Análisis de sensibilidad	87
3.1.3.7	Localización del cuello de botella	89
3.2	Explotación del cuello de botella	91
3.3	Subordinación del resto de etapas al ritmo de la restricción	93
3.3.1	Área de recepción de macro nutrientes	93
3.3.2	Área de molienda de macro nutrientes	94
3.3.3	Área de mezcla de macro y micro nutrientes	94
3.3.4	Área de enfundado y cosido de sacos	96
3.3.5	Área de almacenamiento de sacos paletizados	96
3.4	Determinación de alternativas para levantar la restricción	97
3.5	Proponer la alternativa de implementación	101
3.6	Análisis de los objetivos planteados	106
3.7	Estudio económico de la implementación de la alternativa	108
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
4.1	Conclusiones	112
4.2	Recomendaciones	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
	ANEXOS	124

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 2.1 Equipos de la planta de elaboración de alimento balanceado de la Empresa Reproavi Cía. Ltda.	32
Tabla 2.2 Objetivos específicos de la simulación	42
Tabla 3.1 Datos de operación del molino de martillos	46
Tabla 3.2 Datos de operación de los tornillos transportadores del molino y del elevador N°3	47
Tabla 3.3 Datos de las tolvas de almacenamiento de los materiales molidos	47
Tabla 3.4 Datos de los coches balanza de transporte de los macro y micro ingredientes desde las tolvas y bodega a las mezcladoras	48
Tabla 3.5 Cálculo de la velocidad promedio del movimiento de los operarios que llevan los macro ingredientes de las tolvas a las mezcladoras	49
Tabla 3.6 Cálculo de la velocidad promedio del movimiento de los operarios que llevan los micro ingredientes de la bodega a las mezcladoras	50
Tabla 3.7 Datos operativos de las maquinarias desde las mezcladoras hasta el almacenamiento en tolvas 9 y 10	51
Tabla 3.8 Datos operativos de las maquinarias desde las ensacadoras hasta el transporte por bandas	51
Tabla 3.9 Datos operativos de las maquinarias desde el apilamiento al almacenamiento	51

Tabla 3.10	Composición de los productos de la planta de alimento balanceado para aves en porcentaje	52
Tabla 3.11	Composición de los productos de la planta de alimento balanceado para aves en quintales para una parada de 44 qq.	52
Tabla 3.12	Tiempos de procesamiento en el molino de martillos	56
Tabla 3.13	Tiempos de procesamiento de carga y descarga de macro ingredientes en la mezcladora	57
Tabla 3.14	Promedio de los tiempos de pesado, descarga, ensacado y cosido	59
Tabla 3.15	Resultados del Análisis de las distribuciones de mayor representatividad	62
Tabla 3.16	Producción de las mezcladoras y ensacadora para una corrida de un turno en Flexsim	71
Tabla 3.17	Condiciones a probarse en la prueba de hipótesis	71
Tabla 3.18	Datos reales recogidos en la producción de las mezcladoras en un turno de 8h	72
Tabla 3.19	Resumen Estadístico para media mezcladoras	73
Tabla 3.20	Tabla de Frecuencias para media mezcladoras	74
Tabla 3.21	Diagrama de Tallo y Hoja para MEDIA: unidad = 0,1 1 2 representa 1,2	75
Tabla 3.22	Prueba de hipótesis mezcladoras	76
Tabla 3.23	Condiciones a probarse en la prueba de hipótesis	77
Tabla 3.24	Datos reales recogidos en la producción de la ensacadora en un turno de 8h	77

Tabla 3.25	Resumen Estadístico para media ensacadora	78
Tabla 3.26	Tabla de Frecuencias para media ensacadora	79
Tabla 3.27	Diagrama de Tallo y Hoja para MEDIA: unidad = 0,1 1 2 representa 1,2	80
Tabla 3.28	Prueba de Hipótesis ensacadora	81
Tabla 3.29	Condiciones a probarse en la prueba de hipótesis	82
Tabla 3.30	Datos reales recogidos en la producción del molino en un turno de 8h	82
Tabla 3.31	Resumen estadístico para media molino	83
Tabla 3.32	Tabla de Frecuencias en qq./día	84
Tabla 3.33	Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1 2 representa 1,2	85
Tabla 3.34	Prueba de hipótesis de la ensacadora	86
Tabla 3.35	Resultados de la corrida para 80 réplicas	88
Tabla 3.36	Rendimiento de las mezcladoras	89
Tabla 3.37	Rendimiento de la ensacadora y cosedora	90
Tabla 3.38	Producción ensacadora aumentada el 2%	92
Tabla 3.39	Cálculo de la nueva producción luego del ajuste de horarios de trabajo	92
Tabla 3.40	Rendimiento de las mezcladoras luego de la reducción del tiempo de transporte de macro y micro ingredientes	95
Tabla 3.41	Objetivos de la optimización de la producción de la planta de balanceado	97

Tabla 3.42	Cálculo costos materia prima	98
Tabla 3.43	Costos variables del alimento balanceado	99
Tabla 3.44	Costos fijos	99
Tabla 3.45	Costos unitarios de producción	100
Tabla 3.46	Datos acerca del llenado de las tolvas 7 y 8 en la corrida de optimización	104
Tabla 3.47	Cuadro comparativo de parámetros del sistema en el escenario actual vs las soluciones 1 y 4	106
Tabla 3.48	Análisis de objetivos propuestos	107
Tabla 3.49	Costo de la nueva ensacadora	108
Tabla 3.50	Ahorro estimado generado por la implementación de la alternativa de optimización	110
Tabla 3.51	Flujos de inversión y recuperación de capital anuales para la nueva ensacadora	110
Tabla 3.52	Flujos de inversión y recuperación de capital mensuales para la nueva ensacadora	111
Tabla 3.53	Impacto financiero anual de la inversión con respecto al patrimonio	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1 Sistema de producción	1
Figura 1.2 Niveles de planificación de la producción	5
Figura 1.3 Técnica TAC	8
Figura 1.4 El rol de la simulación en un sistema de soporte de decisiones	11
Figura 1.5 Interacción entre simulaciones y otras aplicaciones para optimización industrial	16
Figura 1.6 Vista ortográfica (2D) de un modelo en Flexsim	24
Figura 1.7 Vista en perspectiva (3D) de un modelo en Flexsim	24
Figura 1.8 Librería de componentes discretos de Flexsim	25
Figura 2.1 Estructura de Producción Reproavi Cía. Ltda.	30
Figura 2.2 Mezcladoras de la planta de balanceado	31
Figura 2.3 Ensacadora de la planta de balanceado	37
Figura 2.4 Diagrama de proceso en producción de alimento balanceado	38
Figura 2.5 Proceso iterativo de la simulación	40
Figura 2.6 Flujograma de proceso de la producción de alimento balanceado en la Empresa Reproavi Cía. Ltda.	43
Figura 3.1 Vista del sector de tolvas de macro ingredientes y de las mezcladoras en el modelo de simulación Flexsim	45

Figura 3.2	Vista del sector de mezcladoras, tolva ensacadora, paletizado y transporte a la bodega de sacos en el modelo de simulación Flexsim	46
Figura 3.3	Ventana de análisis de variables de experfit, Flexsim	60
Figura 3.4	Análisis de tres distribuciones aplicadas al modelo	61
Figura 3.5	Gráfico de los valores de tiempos de pesado de la tabla 2.15, ajustados a la distribución de probabilidad Johnson bounded en el programa EasyFit 5.6	62
Figura 3.6	Gráfico del tiempo de descarga ajustado a la distribución beta	63
Figura 3.7	Gráfico de la distribución beta para tiempo de enfundado	64
Figura 3.8	Gráfico de tiempo de cosido ajustado a la función beta	64
Figura 3.9	Modelo en el área de trabajo	65
Figura 3.10	Programación de triggers para la creación de diferentes item types	66
Figura 3.11	Creación de <i>triggers</i> para la apertura y cierre de puertos	67
Figura 3.12	Programación de tiempos de procesamiento diferente	68
Figura 3.13	Ruteo de ítems a diferente puerto	68
Figura 3.14	Creación de la global table “Composición”	69
Figura 3.15	Creación de un <i>trigger On Entry</i> haciendo uso de la <i>global table</i>	70
Figura 3.16	Gráfico de caja y bigotes para media mezcladoras	73

Figura 3.17	Histograma de los datos de media mezcladora	73
Figura 3.18	Gráfico de cuartiles de los datos de media mezcladora	75
Figura 3.19	Curva de potencia para media mezcladoras	76
Figura 3.20	Gráfico de caja y bigotes para media ensacadora	78
Figura 3.21	Histograma de frecuencias para media ensacadora	79
Figura 3.22	Gráfico de cuartiles para los datos de media ensacadora	80
Figura 3.23	Curva de potencia para los datos de media ensacadora	81
Figura 3.24	Gráfico de caja y bigotes para media molino	84
Figura 3.25	Histograma de media molino	85
Figura 3.26	Gráfico de cuartiles de media molino	86
Figura 3.27	Curva de potencia de la hipótesis de media molino	87
Figura 3.28	Gráfico de calentamiento de rendimiento ensacado	87
Figura 3.29	Gráfico de calentamiento de rendimiento mezclado	88
Figura 3.30	Escenario del modelo en Flexsim	89
Figura 3.31	Utilización de las máquinas mezcladoras, ensacadora y cosedora	90
Figura 3.32	Contenido promedio de la tolva 7 y 8	91
Figura 3.33	Utilización de máquinas mezcladoras, ensacadora y cosedora	93
Figura 3.34	Utilización de las máquinas luego de la subordinación de las mezcladoras al ritmo de la restricción	96

Figura 3.35	Diseño del modelo de optimización	100
Figura 3.36	Solución uno del proceso de optimización	101
Figura 3.37	Solución cuatro del proceso de optimización	101
Figura 3.38	Escenarios para las soluciones factibles	102
Figura 3.39	Análisis del aumento de una ensacadora	103
Figura 3.40	Análisis del aumento de una cosedora	103
Figura 3.41	Gráficos de llenado de las tolvas 7 y 8	105
Figura 3.42	Ensambladora automática Salo	109

ÍNDICE DE ANEXOS

		PÁGINA
ANEXO I	Plano de implantación de la fábrica de alimentos balanceados de Reproavi Cía. Ltda.	125
ANEXO II	Fotos de la planta de fabricación de alimento balanceado de la empresa.	126

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo fue mejorar la producción de la fábrica de balanceado de Reproavi Cía. Ltda., utilizando la teoría de restricciones, en lo cual se manejó la herramienta de simulación del software Flexsim, que permitió, levantar la información por medio de mediciones y observaciones, elaborar un modelo en bruto, luego validarlo y refinarlo comparándolo con el trabajo normal de la planta, después determinar la restricción y mediante el módulo optimizer del software configurar dos escenarios y encontrar la alternativa más viable de levantar la restricción. Todo esto sin perturbar el desarrollo del trabajo normal, solamente en la fase de explotación del cuello de botella se tomó una estrategia administrativa con la ayuda del gerente de producción, supervisor de planta y operadores, mediante un mejor aprovechamiento de las 9 horas de jornada, 8 horas laborables y una hora de comida, haciendo turnos entre los operadores para no parar la ensacadora y la cosedora en la hora de almuerzo, se consiguió incrementar la producción en un 2 %, cosa que facilitó la propuesta de la mejor alternativa para levantar la restricción, que fue la instalación de una nueva ensacadora a un costo estimado de \$ 20 586, inversión que se recupera en aproximadamente 10 meses de operación con el aumento del 17 % en producción. En los análisis se demuestra que con dicha propuesta se lograría nivelar la producción de la ensacadora y mezcladoras, quedando todavía muy lejos de igualar la producción con el molino, el cual tiene una capacidad casi tres veces más grande que los otros equipos. Se cree que la solución hallada a través del software de simulación es óptima para la mejora de producción objetivo de la tesis, debido a que, con una inversión relativamente pequeña, que se recupera rápidamente, se puede alcanzar el objetivo propuesto, cosa que es ideal en la situación actual de crisis de la economía ecuatoriana.

INTRODUCCIÓN

En la teoría de la planificación de la producción, indica que se debe ajustar la producción a la demanda del mercado, Reproavi Cía. Ltda., actualmente en su fábrica de alimentos balanceados para aves, produce solamente para abastecer a sus diez granjas de crianza y engorde de gallinas y pollos, aunque se sabe que, mediante trabajos de investigación de mercado realizados en años anteriores, que existe un nicho en la provincia de Imbabura y Carchi, que le permitiría ingresar como participante en la venta de este producto.

Por lo tanto, el problema más importante que posee la planta de elaboración de alimentos balanceados de la empresa Reproavi Cía. Ltda., es ampliar su producción para diversificar su oferta de productos.

De igual manera, la crisis económica que vive actualmente la sociedad ecuatoriana no permite a las empresas invertir grandes capitales para ampliar su producción, razón por la cual los Directivos de la Empresa desean encontrar una solución para ampliar la producción sin invertir mucho, aprovechando la infraestructura que actualmente posee la planta.

El objetivo general del presente trabajo de investigación es mejorar la producción de los alimentos balanceados, logrando un incremento de la producción, utilizando la teoría de restricciones, el cual es el método ideal para elevar el nivel de producción de una planta de este tipo de una manera económicamente conveniente sin suspender la producción un largo tiempo y en conjunto con la herramienta de simulación industrial se puede hallar la alternativa de levantar el cuello de botella que está limitando la producción de una forma sencilla, utilizando mediciones y observaciones del proceso real; observando gráficamente en tres dimensiones el modelo establecido, el cual debe ser validado y refinado para cumplir con sus objetivos.

Actualmente especialmente en países desarrollados, se está utilizando cada vez más la simulación industrial para establecer nuevos proyectos y resolver problemas en las plantas ya operativas, optimizando los recursos disponibles, ya que permite probar las alternativas sin hacer cambios reales en la maquinaria y en el proceso.

Los pasos de la teoría de restricciones aplicados en el presente trabajo de grado, son: Identificar las restricciones del sistema, mediante el modelo de simulación se logrará establecer cuál es la restricción más fuerte del sistema, la que está limitando la producción. Decidir cómo explotar la restricción, es decir, sin hacer grandes cambios en el proceso elevar el ritmo de la producción que marca el tambor del cuello de botella, para facilitar la elevación posterior de la restricción.

Proponer la alternativa de levantar la restricción, lo cual consiste en estudiar la forma más económica de conseguir los objetivos que se fijarán para establecer la mejora de la producción acompañada de un ahorro en los costos de producción.

En este sentido, se realizará un análisis económico de la alternativa de solución propuesta, su rentabilidad y el tiempo de recuperación de la inversión mediante los métodos de VAN y periodo de recuperación de la inversión y se detallará el impacto que tendrá la mejora en la planta de elaboración de alimentos balanceados.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La planificación de la producción es la ciencia que estudia los métodos y técnicas para planificar, dirigir y evaluar los procesos productivos industriales de bienes y servicios; con el objeto de mejorar la eficiencia y rentabilidad de dichos procesos.

Asimismo, lo que se debe hacer es ajustar la capacidad de producción a la demanda, ya que para tener éxito en la planificación de la producción se debe responder a la cambiante demanda del mercado. La planificación debe hallar la forma más económica de ajustar la capacidad del mercado. En la Figura 1.1 se presenta el sistema de producción. (Sipper y Bulfin Jr. 1998, p. 17)

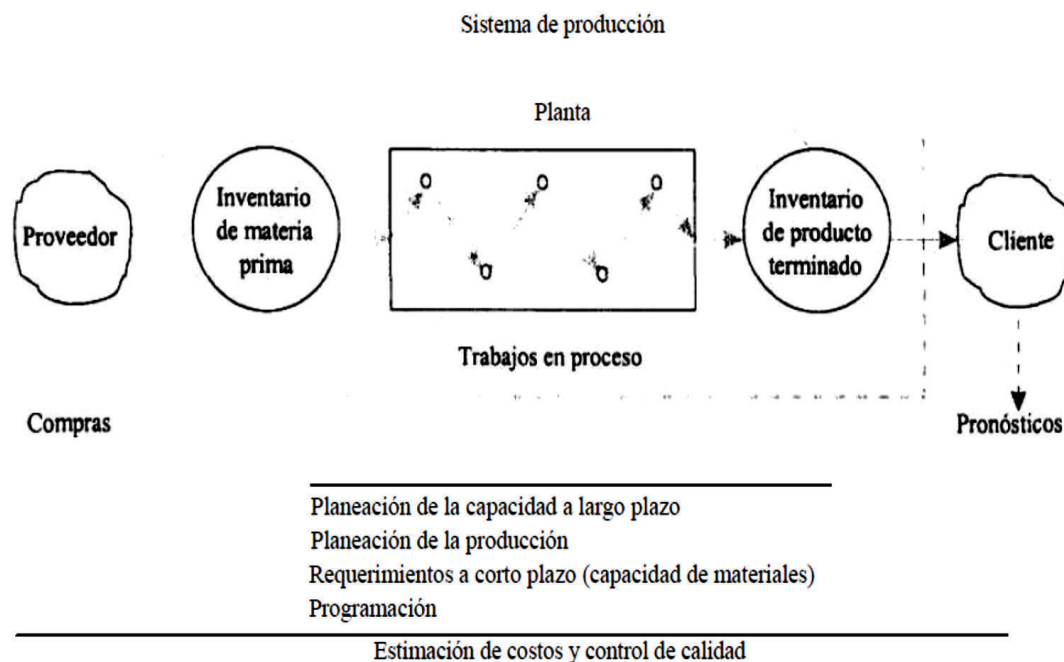


Figura 1.1 Sistema de producción
 (Sipper y Bulfin Jr. 1998, p. 17)

La planificación de la producción implica todos los procesos de la empresa, desde el proveedor, el inventario de materia prima, los trabajos en proceso, el inventario de producto terminado y el cliente, tal como se puede observar en la Figura 1.1.

La planeación de la capacidad es hecha generalmente a largo plazo, es decir, para periodos de más de un año; la planeación de la producción en cambio es hecha para diversos plazos: anual, semestral, trimestral, mensual y semanal. Por consiguiente, la capacidad de materiales, implica los requerimientos especialmente a corto plazo, aunque, de hecho, también se planifican a largo y mediano plazo.

La planeación se encarga de transformar los anuncios de demanda en un plan maestro de producción. La planificación se divide en estratégica, planificación táctica, planificación operativa y planificación agregada. (Núñez A, 2014, p. 33).

1.1.1 PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

La planificación estratégica establece los objetivos a largo plazo, habitualmente de 3 a 5 años y es desarrollada por el alta dirección. Por su parte, la estrategia, es buscar metodologías que permitan el sostenimiento a largo plazo y el éxito de la empresa, para ello es necesario que se ocupe de problemas poco estructurados y de gran amplitud, como por ejemplo la localización de las instalaciones productivas de la empresa. (Núñez A, 2014, p. 33).

Esta planificación debe ser elaborada a partir del plan de ventas, plan de producción a largo plazo y el plan financiero a largo plazo, con el acuerdo de las diferentes áreas, como: producción, comercial y finanzas. Cómo todo plan se elabora a partir de la anticipación de necesidades futuras, se debe disponer para su diseño de información de previsiones de la demanda, disponibilidad de recursos productivos y costos asociados a ellos. Con todos estos insumos se realiza la planificación estratégica de la empresa por parte de la alta dirección, la cual sirve de guía para todo el accionar, desarrollo y operación de la compañía. Debe ser muy bien pensada y planificada, ya que de ella depende la supervivencia de le empresa en estos tiempos de alta competitividad y de obsolescencia rápida de los productos. Existen ejemplos muy claros de compañías que por una deficiente planificación estratégica tuvieron que a mediano plazo quebrar o reducirse drásticamente, inclusive empresas que en el pasado fueron poderosas y hegemónicas (Núñez A, 2014, p. 33).

1.1.2 PLANIFICACIÓN TÁCTICA

La planificación táctica, es el medio por el cual se concretan los planes estratégicos a mediano plazo, sirve de conexión entre la planificación estratégica y la planificación operativa, entre 3 y 18 meses. A partir de los productos que se quieren fabricar para satisfacer la demanda y el inventario existente, la disponibilidad de equipos y la mano de obra, se trata de hacer cumplir el plan estratégico al menor costo posible y se planifica en familias de productos. (Núñez A, 2014, p. 33).

En este sentido, se concreta este modelo en los llamados planes agregados de producción, que determinan que productos y que cantidad de ellos se quiere fabricar; y el plan agregado de capacidad, es decir, cuál es la capacidad de producción y de qué material, equipos y mano de obra se dispone. (Núñez A, 2014, p. 33).

1.1.2.1 Familias y productos

El plan agregado de producción se planifica en familias, a diferencia del plan maestro de producción, que se planifica en productos. Se puede definir cómo producto, al resultado final de un proceso de producción, que es entregado a clientes finales. La familia en cambio, es el grupo de productos o servicios que tienen un proceso de producción similar, trabajo y materiales comunes. (Núñez A, 2014, p. 33).

1.1.2.2 Plan agregado de producción

Si la demanda de una determinada familia que se fabrica en una empresa, es de 12 000 unidades al año, se podría fabricar 1000 unidades mensuales durante los doce meses del año. Aunque si la demanda es estacional, esta fabricación a ritmo constante no sería la adecuada, o si se tiene trabajadores insuficientes o máquinas deficientes, se debería contratar más personal o trabajar horas extras; de todas las opciones, se debe determinar la opción más económica posible o la

que pueda satisfacer mejor a los clientes, todo esto se deberá satisfacer en el plan agregado de producción.

1.1.3 PLANIFICACIÓN OPERATIVA

La planificación operativa es a corto plazo, se relaciona con el plan maestro de producción. Esta planificación se hace a varias semanas y para productos concretos. En este mismo orden, como parte de la planificación operativa, se elabora el plan maestro de producción, el cual debe ser estable y a la vez flexible para responder a posibles cambios de la demanda, sobre todo en empresas que trabajan con el sistema bajo pedido o pull. El horizonte de planificación puede ser de varias semanas y las familias de productos se descomponen en varios productos concretos.

La gestión del plan maestro de producción implica tres tipos de actividades:

- Nuevas necesidades de producción.
- Actualización de necesidades previas.
- Analizar cumplimiento de objetivos del proceso. (Heredia, 2004, p. 120).

En la Figura 1.2 se puede ver que el orden jerárquico de la planificación parte desde la estratégica, que es a largo plazo, pasando por la táctica que es a mediano plazo y llegando a la planificación operativa que es a corto plazo, luego se ejecutarán las tareas, se controlará los resultados y se retroalimentará comparando con los objetivos previamente establecidos para tomar las medidas de corrección necesarias en caso de que la planificación y ejecución no coincidan. Todo esto se debe ejecutar para tener éxito en la planificación estratégica, consiguiendo que los tres tipos de planificación se conviertan en un sistema de calidad, con el ciclo Deming de planificación, ejecución y control; esto hace muy efectivo el trabajo de la alta dirección, de los mandos medios y operativos, para lograr excelentes resultados en la empresa, planificando correctamente, ejecutando cuidadosamente y controlando eficazmente se cierra el ciclo. (Heredia, 2004, p. 120).

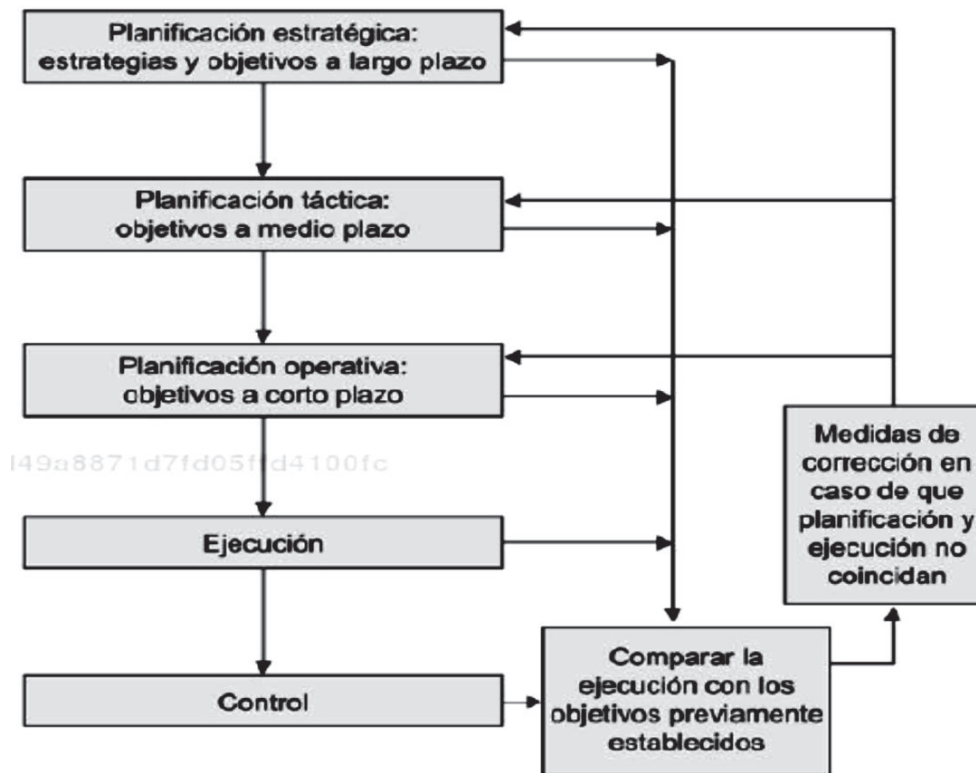


Figura 1.2 Niveles de planificación de la producción
(Núñez, 2014, p. 37)

1.1.4 PLANIFICACIÓN AGREGADA

La planeación agregada, se enfoca a la planificación de la producción a mediano plazo. Se analizan cuatro factores: capacidad, costos de producción, costos de cambio de capacidad y costos de inventarios. El documento que recoge la planeación agregada es el plan agregado de producción, el cual trata de igualar siempre la tasa de producción a las previsiones de la demanda. (Sipper, y Bulfin Jr. 1998, p 22).

La función de la planeación de la producción puede ser muy compleja; hay varios factores que contribuyen a esta complejidad: el número de productos, los patrones de demanda, la incertidumbre, el número de periodos en el horizonte, los procesos alternativos de fabricación del producto, la subcontratación, el tiempo extra y el inventario, todo esto compone un escenario muy cambiante, que contempla un gran número de variables, lo cual hace que sus planificadores y ejecutores tengan que ser muy cuidadosos. (Palacios, 2011, p. 18).

1.2 TEORÍA DE RESTRICCIONES

Teoría de restricciones estrictamente trata acerca de la definición de restricción, es decir: “cualquier cosa que limita un sistema para lograr un desempeño más alto en el cumplimiento de la meta”. TOC trata acerca del manejo de dichas restricciones y el OPT (optimized production technology) que es un método para manejar la restricción. (Sipper, y Bulfin Jr. 1998, p. 591).

El manejar la restricción significa el optimizar el proceso, ya que esta etapa es la que impone el ritmo de la fábrica; esto no es nuevo ya que, al identificar la ruta crítica en un proyecto, en ella debe estar el cuello de botella.

1.2.1 TIPOS DE RESTRICCIONES

Se identifican tres tipos de restricciones:

1.2.1.1 Restricción interna de recursos

Restricción de recursos interna: la cual es el clásico cuello de botella, máquina, trabajador o herramienta. La premisa de esta teoría, es que los cuellos de botella en la producción son la base para la programación y la planificación de la capacidad. Los recursos se clasifican entre los que son cuellos de botella y los que no lo son; los cuellos de botella se programan a su máxima utilización y los demás para servir a la restricción, esto significa que en algunos casos estos últimos pueden estar ociosos, es decir, que no se respeta totalmente el principio de la máxima eficiencia en todas las máquinas, pero se considera que TOC es una teoría global para mejorar la organización. (Sipper, y Bulfin Jr. 1998, p. 591).

La definición de restricción es según un autor de un libro industrial, que interpreta el rendimiento de un proceso: “cualquier cosa que limita un sistema para lograr un desempeño más alto en el cumplimiento de su meta” (Sipper, y Bulfin Jr. 1998, p. 591).

1.2.1.2 Restricción de mercado

Restricción de mercado: la demanda del mercado es menor que la producción, en este caso el mercado da el ritmo de la producción. La demanda máxima de un producto está restringida por el mercado, el satisfacerla equivale a cubrir los factores de éxito establecidos, como el precio, la oportunidad de entrega, etc.

1.2.1.3 Restricción política

Restricción política: se da cuando una política dicta la tasa de producción, por ejemplo, la política de no trabajar horas extras. Son estrategias y políticas de la empresa que limitan la generación de ingresos y fomentan la optimización. El desempeño de los sistemas industriales que puede mejorar el TOC, se refleja en las medidas financieras y operacionales de: ganancia neta, rendimiento sobre la inversión, flujo de efectivo, inventario, gastos de operación, etc. (Sipper, y Bulfin Jr.1998, p. 593).

1.2.1.4 Mejora continua

Para la mejora continua, Goldratt desarrolló los cinco pasos del TOC:

1. Identificar las restricciones del sistema.
2. Decidir cómo explotar dichas restricciones.
3. Supeditar todo a la decisión tomada en el paso anterior.
4. Elevar las restricciones del sistema, es decir, lograr el desempeño más alto respecto a la meta.
5. Cómo se trata de mejora continua, se debe volver al paso 1 para evitar que por inercia se vuelva a una restricción en el sistema.

Este sistema sugiere varias técnicas para la implantación de los cinco pasos, pueden ser: análisis de causa y efecto, nubes que se evaporan, administrador de amortiguadores y tambor-amortiguador-cuerda, etc. De las técnicas anteriores, la más aplicada es la última, es decir, la TAC, que es una técnica de control de producción, para implantar los pasos de explotación, supeditación y elevación del TOC, si el sistema tiene cuello de botella, este se convierte en el punto de control natural, ya que su tasa de producción, controla el ritmo del sistema, por lo cual se

llama tambor; las operaciones anteriores deben alimentar al punto de control para que nunca carezca de inventario. (Sipper, y Bulfin Jr.1998, p. 594).

En el TAC, un lote de proceso no es igual a un lote de transferencia, debido a que el primero es el número de unidades producidas entre dos preparaciones consecutivas y en cambio el lote de transferencia es el número de unidades transportadas entre dos estaciones de trabajo adyacentes, por lo que el lote de proceso se basa como su nombre lo indica en el proceso y el de transferencia se basa en la “parte”. (Sipper, y Bulfin Jr.1998, p. 596).

Básicamente la técnica TAC es un sistema de retroalimentación, tal como se muestra en la Figura 1.3:

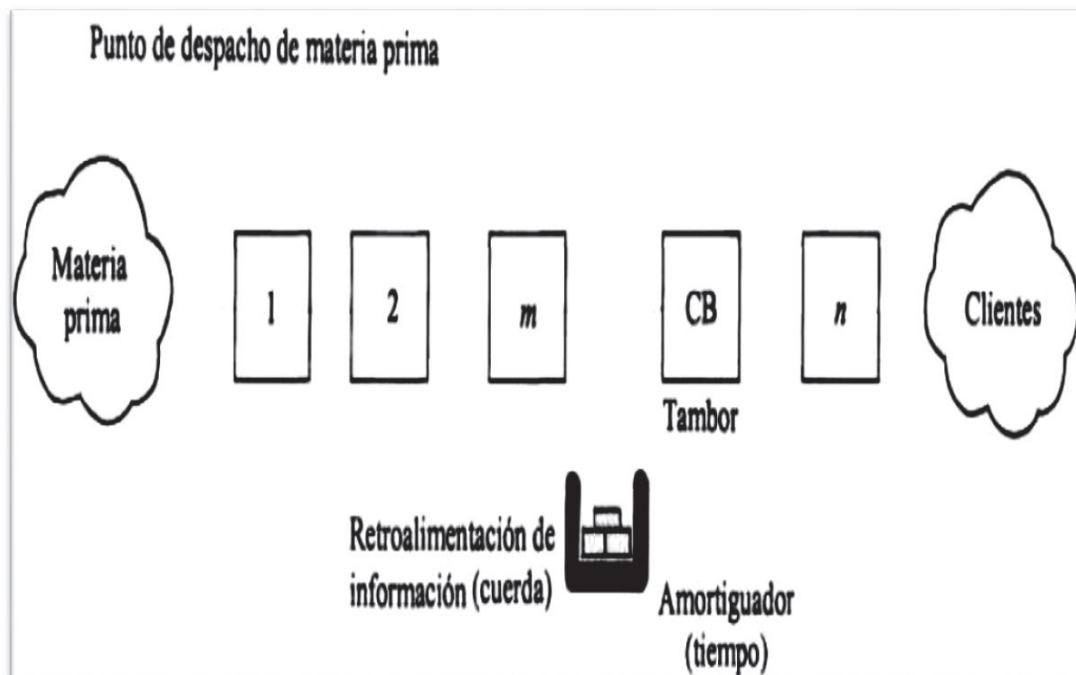


Figura 1.3 Técnica TAC
(Sipper, y Bulfin Jr.1998, p. 599)

El “TAC”, es una combinación de jalar y empujar, ya que, desde el tambor o restricción, hacia atrás se jala el proceso y hacia adelante se empuja hasta la entrega a los clientes, con estimaciones hechas para el tambor. La retroalimentación de información es la cuerda para jalar y se ubica antes de la

restricción, con un amortiguador, que es el tiempo, el cual mantiene el inventario para que funcione la mencionada restricción.

La máquina cuello de botella se debe programar para que marque el ritmo de toda la planta, si es posible hacer esto, el resto de máquinas se supeditarán a dicha programación. Los equipos de adelante se programan con el despacho y los de atrás con un MRP u otro sistema de planificación industrial. Se puede detectar el cuello de botella, observando cuál es la máquina que acumula inventario tras de sí, es decir, la que tiene mayor carga de trabajo pendiente de despachar. La técnica de mediciones y observaciones es la más utilizada para la tarea de detectar el cuello de botella, cronometrajes, medición de tiempos y movimientos, entrevistas con los operadores y supervisores son indispensables para detectar la restricción, por lo que se deben utilizar para aplicar esta técnica. (Aguilera, C. 2000, p. 13).

Dado que la empresa tiene restricciones internas y externas, el problema de la gerencia está en identificarlas y descubrir como optimizarlas dentro de los límites impuestos por ellas mismas, si los gerentes quieren mejorar continuamente los resultados de sus organizaciones deben aprender a superar también continuamente aquellas situaciones que impiden la consecución de resultados superiores. (Aguilera, C. 2000, p. 13).

Las restricciones físicas son más fáciles de identificar, pero en el momento en que la limitación es superada, normalmente surge en otro lugar de la empresa, no siempre el nuevo obstáculo es en dentro de la fábrica, por ejemplo, pueden surgir impedimentos en el mercado, cuando no hay demanda suficiente para los productos, lo cual hace pensar a los gerentes que la restricción está fuera de control, pero esta puede ser auto creada por la misma gerencia a través de sus políticas de marketing. (Aguilera, C. 2000, p. 14).

Aunque por lo general es muy difícil identificar una restricción de política, la mayoría se componen de reglas no escritas y muchas veces no verbalizadas, que nadie recuerda. Para aprovechar al máximo los recursos críticos para la consecución del resultado empresarial, las unidades defectuosas deben ser aisladas del proceso antes de que pasen por el recurso restrictivo y no después

de alcanzado el producto final, como sucede la mayoría de las veces; por ejemplo, el personal involucrado no puede dejar de trabajar en los cambios de turno, horas de almuerzo, reuniones internas de trabajo, etc. (Aguilera, C. 2000, p. 14).

Lo importante es explotar al máximo la restricción, ya que esta marca el ritmo de la producción, con ello se consigue conseguir la meta deseada. El tercer paso de la teoría de restricciones corresponde a la toma de decisiones, por parte de la alta dirección, que sea consecuente con las prioridades de mejorar los resultados de la acción empresarial, ya que la meta no es solo bajar el costo, sino conseguir una utilidad superior. El objetivo de lo anteriormente dicho es supeditar todas las decisiones al aprovechamiento de la restricción, con el fin de alcanzar la meta empresarial. (Aguilera, C. 2000, p. 14).

Si la restricción es física y se trata de una máquina, se puede colocar otro equipo adicional para superarla, se tiene la alternativa de no gastar mucho dinero utilizando equipos usados u otras opciones económicas. También es muy utilizado el outsourcing, es decir, el encargar la fabricación de unidades adicionales a otros proveedores, lo cual puede momentáneamente cubrir el exceso de demanda que la limitación no permite satisfacer; aunque esto implica normalmente un aumento de costos y posible pérdida del mercado. (Ray, et al., 2008, p. 1).

Cómo se trata de mejora continua, se debe volver al paso 1 para evitar que por inercia se vuelva a una restricción en el sistema. Por todo esto es de suma importancia que los gerentes de las empresas definan claramente la meta o el propósito del sistema empresarial bajo su responsabilidad, así mismo debe definir si su gestión se desarrolla en el mundo de los costos o de los rendimientos (throughput), ya que es muy diferente el enfoque en cada uno de ellos, por lo que no es recomendable que intente desenvolverse en los dos paradigmas, sino que debe enfocarse en uno de ellos para mejorar su gestión. (Ray, et al., 2008, p. 1).

Los principios del TOC ayudan como elementos de apoyo que contribuyen al raciocinio gerencial en el manejo de procesos, recursos, actividades y personas. Al ser un proceso de mejora continua, nunca termina y se puede seguir aplicando todo el tiempo para lograr aumentos y progresos en la producción de la planta. (Ray, et al., 2008, p. 1).

1.3 SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

Simulación es el uso de un programa de computación para modelar un sistema del mundo real, con el objeto de validar decisiones que afectan al medio, sin tener que desarrollar acciones físicas en la planta industrial. (Concannon K., et al. 2007, p17).

Como se muestra en la Figura 1.4, el rol de la simulación es muy importante en la toma de decisiones para una empresa de producción de bienes o servicios, ya que a un costo relativamente pequeño, se puede tener criterios y opciones de decisión para mejorar la producción de la planta.

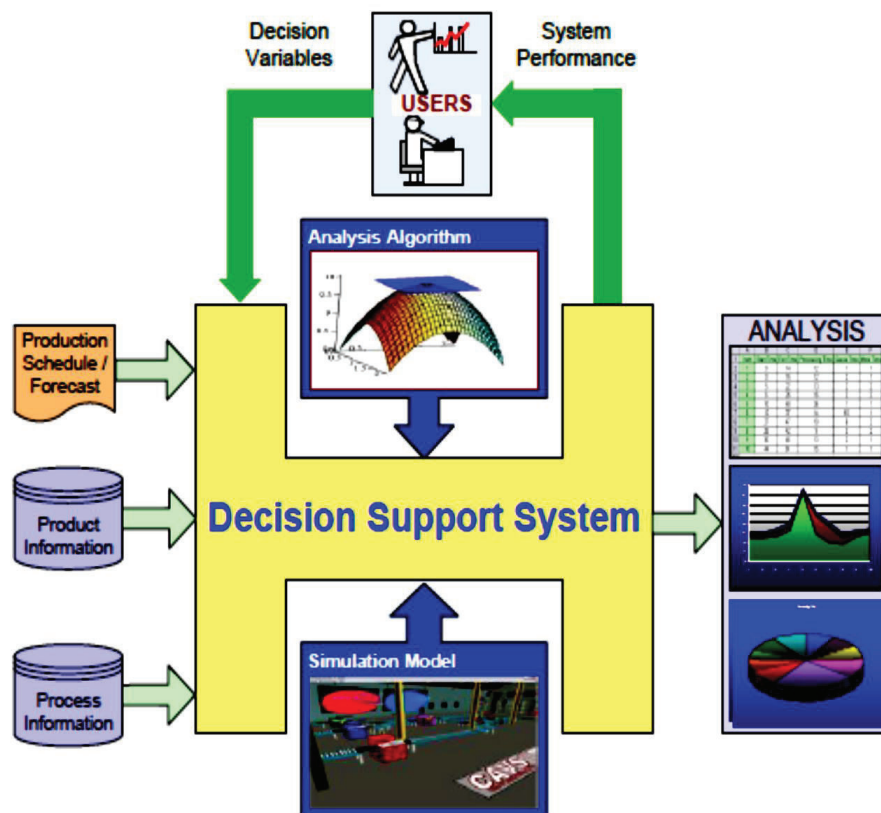


Figura 1.4 El rol de la simulación en un sistema de soporte de decisiones
(Greenwood y Beaverstock, 2011, p 2.)

1.3.1 APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

La simulación es utilizada en el diseño o modificación de sistemas complejos, fábricas y negocios, experimentando con combinaciones alternativas de recursos,

personas, máquinas y políticas alternativas. El tiempo de la simulación se mueve mucho más rápido que el tiempo real, por ejemplo un día de una fábrica puede ser simulado en pocos segundos en un modelo. (Calderón y Lario, 2007, p. 2).

Un modelo de simulación es una descripción de un proceso o un sistema que usualmente incluye parámetros para representar diferentes configuraciones de dicho sistema. Este modelo de simulación se puede usar para experimentar, evaluar y comparar muchas alternativas; los resultados son la predicción del rendimiento y la identificación de los problemas del proceso. (Calderón y Lario, 2007, p. 2).

1.3.2 TIPOS DE SIMULACIONES DE PROCESOS INDUSTRIALES

Entre los tipos de modelos de simulación se destacan los estáticos y los dinámicos, dependiendo de su relación con el tiempo; los dinámicos a su vez se pueden dividir en continuos y discretos. Los continuos se basan en ecuaciones diferenciales que utilizan el tiempo como variable independiente, en ellos el estado del sistema cambia continuamente, de manera que puede ser diferente en cada instante; en cambio los discretos cambian solo en momentos específicos, determinados por la ocurrencia de un evento, como por ejemplo la llegada de una orden de producción, entonces el modelo ejecuta el proceso que desencadena dicho evento y avanza el tiempo correspondiente, según el reloj del sistema. (Calderón y Lario, 2007, p. 3).

Casi todos los modelos de evento discreto son estocásticos, es decir, contienen algunos elementos determinados por la probabilidad, por ejemplo, la llegada entre órdenes sucesivas o el tiempo de una reparación de una avería, esto hace que el modelo sea aleatorio y los resultados deban ser tratados mediante un análisis estadístico para validar sus conclusiones.

También existen modelos combinados, continuos y discretos, lo cual hace que el algoritmo deba representar ambos arreglos y sus interacciones. Un ejemplo de esto es la combinación entre los flujos de información de la cadena de suministro y los niveles de inventario en el distribuidor y en cada fábrica, mismos que son considerados elementos continuos, mientras que el transporte es considerado un

elemento discreto. La mayoría de los programas de simulación para cadenas de suministro son modelos dinámicos de elemento discreto, estos se basan en dos enfoques estructurales: (Calderón y Lario, 2007. p 2).

- a) Simulación local con un solo modelo ejecutado en un solo computador que reproduce todos los nodos.

- b) Simulación paralela o distribuida que pone en práctica un modelo para cada nodo, ejecutada sobre varios computadores o multiprocesadores, capaz de correr el proceso en modo paralelo o distribuido en una sola simulación cooperativamente.

Aun la simulación local es el enfoque más utilizado en la industria, para el diseño de redes de cadenas de suministro, modelos estratégicos y arquetipos de gestión. Este modelo se aplica dentro de varios sectores industriales con empresas de diferente tamaño y generalmente a cadenas de suministro de un solo propietario, ya que las empresas no desean compartir su información con otras de la cadena. (Calderón y Lario, 2007.p 3).

La simulación paralela o distribuida, SPD todavía no es el estándar industrial, pero está consiguiendo avances muy significativos ya que se están resolviendo problemas de estabilidad de las tecnologías de la información, especialmente dificultades de sincronización del tiempo de simulación; este tipo se aplica principalmente a los sistemas de multipropiedad por su capacidad de solucionar problemas de compartición de información en los nodos. Existen cuatro formas de aplicar la estructura del SPD según diferentes niveles de negociación entre los miembros de la cadena de suministro (Calderón, y Lario, 2007.p 3):

- Sin negociación, simple simulación.
- Negociación fuera de línea, simple simulación.
- Negociación en línea, simulación anidada.

Los sistemas multi agentes son utilizados en el SPD por su capacidad de permitir la inter acción de diferentes empresas en la cadena de suministro, cada una con su software y lenguaje específico, corriendo en paralelo como una gran simulación sincronizada. (Calderón y Lario, 2007.p 3).

1.3.3 INTERFAZ DE LAS SIMULACIONES DE PROCESOS INDUSTRIALES

Las modernas simulaciones proveen una representación gráfica de que es lo que está sucediendo en el sistema en el que el modelo está corriendo y permiten al usuario hacer cambios a través de una interface gráfica, esto es llamado una visualización interactiva computacional. La imagen de una pantalla de la computadora es una fotografía plana de una fábrica o una representación en tres dimensiones de ella, pero es una forma utilitaria de ella, lo cual permite a los usuarios ver que está sucediendo en el interior del modelo, por lo tanto, el diseño de la pantalla es uno de los aspectos más importantes de la simulación hoy. (Calderón y Lario, 2007.p 2).

Los programas de simulación son cada vez más fáciles de usar y han reemplazado a las hojas de cálculo utilizadas en el pasado por los encargados de tomar decisiones para su trabajo.

1.3.4 MODELOS DE LAS SIMULACIONES DE PROCESOS INDUSTRIALES

Los tipos de sistemas de simulación típicamente utilizan modelos dinámicos, con cambios en el tiempo y estocásticos, es decir, con variabilidad estadística. Si no se entiende profundamente la dinámica del sistema, se puede utilizar el peor caso, que es el más costoso, o la media, que es peligrosamente sub diseñada para describir el sistema. La simulación debe crear un balance entre costo y desempeño. Siempre en la simulación hay una pugna por utilizar un modelo estocástico vs. un modelo determinista; la simulación debe crear la variabilidad de los sistemas mediante el uso de corrientes de números ramdómicos y así generar eventos ramdómicos que no afecten al próximo suceso, que creen variabilidad en el sistema, convirtiéndolo en lo más parecido a la realidad. (Concannon, et al. 2007, p. 20).

A veces los modelos de simulación no contienen estos elementos auto contenidos ramdómicos, esto puede ser muy frecuente en este tipo de simulaciones. La utilización de números ramdómicos, permite que estos modelos elaboren situaciones indeterminadas o fortuitas, que se asemejen a la realidad de las situaciones en los procesos industriales. Por esto los modelos de simulación

industrial, son cada vez más utilizados, ya que permiten recrear las situaciones reales que se dan en los procesos, sin tener que montar costosas maquinarias y perder tiempo valioso de producción, que luego nunca podrá recuperarse, sino que se corren las alternativas en el modelo y se observa lo que puede suceder en la realidad. (Concannon, et al. 2007, p. 20).

La ventaja de los modelos de simulación, puede verse que es económica y funcional, ya que al recrear situaciones asumidas del proceso, que sirven para probar teorías de mejora o variación de los procesos industriales, permite adelantarse a los acontecimientos que se pueden producir al variar los parámetros de producción de la factoría, mediante transiciones que implican aumento de maquinaria, cambio de organización administrativa, variación de almacenamientos de materia prima o productos intermedios del proceso y otras estrategias para aumentar los ritmos de sistema productivo que se está analizando, con lo cual el proceso de optimización se convierte en un juego en tiempo real de iteraciones hasta conseguir los resultados deseados en el proceso; todo esto sin perturbar la instalación real de la fábrica, definitivamente por estas razones los mencionados modelos son un gran adelanto de la ciencia del mejoramiento industrial en la producción de bienes o servicios.

Como se ilustra en la Figura 1.5, para tomar decisiones en la optimización industrial, existen varias tecnologías que se pueden utilizar, tales como los sistemas de planeación estratégica, los sistemas de mejoramiento continuo, de manufactura esbelta o seis sigma, el análisis de simulación y los sistemas de planificación y ejecución en tiempo real, entre ellos se pueden inter relacionar, como se puede observar en la mencionada Figura 1.5; todos ellos se pueden alimentar de datos en tiempo real, mediciones y datos históricos. A su vez pueden ser realimentados con ideas para el cambio, variaciones en la ejecución de la administración y operaciones dinámicas; dando como resultado la interacción de todos estos sistemas para realizar la mejora continua de los sistemas y procesos con un monitoreo continuo de la situación real, esto hace que las compañías que utilizan estas tecnologías logren excelentes resultados y logren mantenerse competitivas en el dinámico entorno industrial de hoy, lo cual las hace empresas de clase mundial; las empresas que no logran mantener este entorno, pronto

sucumben ante la competencia, ya que todos los actores tratan cada vez de ser más eficientes, proporcionando a sus accionistas ganancias cada vez mayores por sus inversiones.

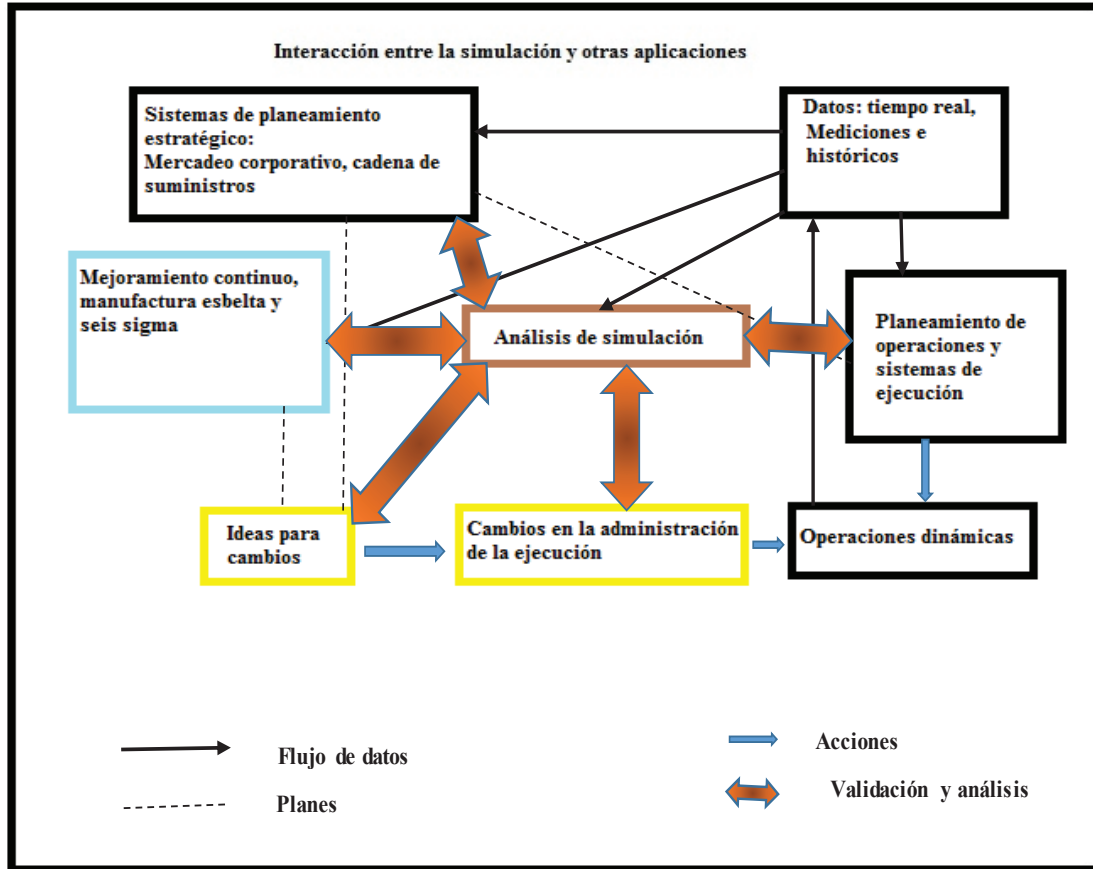


Figura 1.5 Interacción entre simulaciones y otras aplicaciones para optimización industrial
(Beaverstock, et al, (2014), p. 13)

1.3.5 BENEFICIOS DE LAS SIMULACIONES DE PROCESOS INDUSTRIALES

Los beneficios de la simulación han sido establecidos por muchos autores, según (Concannon et al, 2007, p. 20), son los siguientes:

- Determinación de la mejor alternativa simulando un cambio propuesto, mediante la cual es posible escoger la mejor alternativa antes de implementarla, esta se podría decir que es la principal característica y beneficio de la simulación, ya que permite ahorrar costosas implementaciones para tomar las decisiones. (Concannon et al, 2007, p. 20).

- Manipulación de los períodos de tiempo, la simulación permite acelerar o desacelerar el tiempo para propósitos de evaluación. Se puede simular periodos de varios años de producción en varios minutos o alargar los eventos para propósitos de investigación. (Concannon et al, 2007, p. 20).
- Entendimiento de sistemas, la simulación es particularmente útil cuando los sistemas no pueden ser vistos en su integralidad; los gerentes pueden reconstruir el proceso y entender las interconectividades e interdependencias de sus componentes. (Concannon et al, 2007, p. 20).
- Exploración, cuando se emprende nuevas iniciativas, tales como las derivadas de un proyecto seis sigma, la simulación puede ser utilizada para evaluar y explorar las recomendaciones realizadas, sin interrumpir el sistema vigente. (Concannon et al, 2007, p. 21).
- Identificación de problemas, la mayoría de sistemas modernos son complejos por naturaleza, la simulación provee un lugar para explorar esos sistemas para la indentificación de problemas, ya que solo entendiendo todas las variables interdependientes es posible identificar la verdadera fuente del problema, lo cual redundo en ahorro de tiempo y dinero en la búsqueda de alternativas para optimizar los sistemas. (Concannon et al, 2007, p. 21).
- Análisis de cuellos de botella, por medio de la simulación se puede identificar rápidamente este fenómeno. (Concannon et al, 2007, p. 21).
- Visualización de la planificación; cuando se diseña sistemas completamente nuevos, muchos posibles defectos del diseño no se pueden anticipar a través de evaluaciones de los sistemas estáticos, monitoreando el diseño en sistemas animados se puede encontrar las fallas. (Concannon et al, 2007, p. 21).
- Ganar aprobación, la simulación provee una excelente plataforma para mostrar nuevas ideas y conceptos para el mejoramiento del sistema, cuando los gerentes pueden ver los beneficios inmediatos del cambio, es mucho más fácil conseguir su aceptación y la aprobación del presupuesto. (Concannon et al, 2007, p. 21).
- Preparación a través del sistema de análisis “que pasa si”; corriendo simulaciones de problemas potenciales, las cuales pueden ocurrir a través del tiempo en el sistema, es posible estar preparado para posibles

eventualidades y desarrollar planes para identificarlas. (Concannon et al, 2007, p. 21).

- Analizar mejoramientos de capital, una típica simulación estudia los costos de las mejoras de aproximadamente el 1 % del costo del capital, usando la simulación se puede asegurar que el correcto mejoramiento del capital es hecho, consiguiéndose grandes ahorros. (Concannon et al, 2007, p. 21).
- Entrenamiento de empleados, los simuladores han sido empleados por años para entrenamiento. De la misma manera que una simulación de un evento discreto, se puede utilizar para demostrar un nueva política para empleados, la visualización provee una plataforma rápida de aprendizaje. (Concannon et al, 2007, p. 20).

1.3.6 DIFICULTADES DE LAS SIMULACIONES

Las dificultades al utilizar la simulación son las siguientes cuando se implementan y ejecutan:

- Se requiere conocimiento especial, en el pasado solamente los expertos podían crear modelos de simulación, lo cual era particularmente costoso; los modelos basados en el sistema Windows están haciendo más fácil su uso, ya que no requieren códigos o los utilizan poco. (Concannon et al, 2007, p. 22).
- Son difíciles de interpretar, debido a que la mayoría de las salidas son resultados de los números randómicos, es difícil determinar la exactitud de los resultados, los mismos que muchas veces deben pasarse a programas estadísticos para ver su significancia. (Concannon et al, 2007, p. 22).
- Consumen tiempo, los modelos detallados de simulación a veces toman largo tiempo en desarrollarse y consumen valiosos recursos, a través de cuadros de dialogo y objetos construidos de copiar y pegar, se ha logrado que sean más fáciles y rápidos de analizar. (Concannon et al, 2007, p. 20).
- Las licencias de los programas de simulación aun resultan caras para su uso, a no ser que se consigan para fines académicos, cuando son más económicas; esto dificulta su obtención para la mayoría de empresas de pequeño y mediano tamaño, solo están en capacidad de adquirirlas las

grandes compañías, que tienen departamentos dedicados a este fin, los cuales al final redituan con creces la inversión que se hace en ellos, que es alta al inicio, ya que también no existe todavía mucho personal experimentado en el uso del software. (Concannon et al, 2007, p. 20).

1.3.7 SOFTWARES DE SIMULACIÓN DISPONIBLES ACTUALMENTE

Existen en la actualidad varios softwares de simulación de procesos industriales en el mercado, los cuales sirven para incrementar o mejorar la eficiencia de los sistemas, consistiendo en poderosas herramientas de cálculo con importantes bancos de datos, que contienen las propiedades físicas de miles de compuestos y sustancias químicas, selección de modelos termodinámicos, cálculos de equipos, análisis de costo, estado de agregación y condiciones de operación, que le dan al simulador una gran versatilidad. (Ramírez, 2014, p.1).

Los “softwares” más utilizados son:

1.3.7.1 Hysys

Es un programa interactivo, enfocado a la ingeniería de procesos y la simulación, que se puede utilizar para solucionar toda clase de problemas relacionados con procesos químicos, está especializado para plantas petroquímicas. (Ramírez, 2014, p.1).

1.3.7.2 AspenPlus

Es un simulador estacionario, secuencial y modular, que permite la estrategia orientada a ecuaciones, es muy utilizado actualmente en la industria química y petroquímica, refinación de petróleo, industrias de papel y pulpa. Modela cualquier sistema de flujo continuo de materiales y energía. (Ramírez, 2014, p.1).

1.3.7.3 Chemcad

Sistema utilizado en todo el mundo para el diseño, operación y mantenimiento de procesos en industrias químicas, farmacéuticas, biocombustibles y procesos industriales en general; ofrece varias ventajas, como: incremento de

productividad, maximizar la rentabilidad de operaciones y reducción de costos e inversiones de capital. (Ramírez, 2014, p.1).

1.3.7.4 Promodel

Permite simular cualquier proceso de manufactura, procesos logísticos, procesos de manejo de materiales, contiene excelentes simulaciones de talleres, grúas viajeras, bandas transportadoras y muchas máquinas más; se puede representar sistemas justo a tiempo, teoría de restricciones, sistemas de empujar y halar, logística y muchas otras cosas más. Permite optimizar los procesos de los modelos ingresados y corre bajo el sistema operativo Windows. Permite la creación de modelos rápida, sencilla y flexible; permite la importación de layouts desde autocad o cualquier herramienta CAD/ CAE/ diseño, así como fotografías digitales. Tiene integración con Excel, lotus, visual basic y herramientas de Microsoft y genera modelos en 3D. (Ramírez, 2014, p.2).

1.3.7.5 Arena

Ofrece un mejor entendimiento de las cualidades del sistema, está formado por módulos de lenguaje Siman, es decir, un lenguaje de programación, que se desarrolla entre el modeling y el experiment; la flexibilidad de este sistema permite el análisis de cualquier cosa, desde centros de atención al cliente hasta cadenas de suministro. (Ramírez, 2014, p.2).

1.3.7.6 Simnet

Se basa en la idea de que los modelos de simulación discreta, pueden crearse como sistemas de línea de espera, se basa en un acercamiento de red basada en tres nodos auto descriptivos: una fuente, donde llegan las transacciones de los clientes, una línea de espera y una instalación para llevar a cabo el servicio y un cuarto nodo llamado auxiliar para incrementar las capacidades de modelación del lenguaje. (Ramírez, 2014, p.2).

1.3.7.7 Simul8

Es un software de simulación utilizado para todos los procesos de la industria, es uno de los más simples e intuitivos, el cual utiliza una interfaz explícita y un método

básico, el usuario puede ejecutar simulaciones animadas y dinámicas sin escribir un código. (Ramírez, 2014, p.2).

Se integra a las tecnologías de Microsoft (Ole, Vba, Active X, Com interface, DDE, ODBC, SQL, XML) y se basa en templates (objetos pre formateados), Simul8, permite que usuarios relativamente novatos elaboren los modelos, no es necesario que los usuarios escriban complejos códigos de programación. (Ramírez, 2014, p.2).

1.3.7.8 Flexsim

Es un software de simulación de elementos discretos, que permite modelar, analizar, visualizar y optimizar cualquier proceso industrial, desde procesos de manufactura hasta cadenas de suministro, todo esto dentro de un entorno 3D; es utilizado por empresas líderes de la industria para simular sus procesos productivos antes de llevarlos a su ejecución real. Posee una página web propietaria que posee una multitud de herramientas adicionales al software como modelos 3D y librerías y su costo es relativamente económico frente a otros programas. (Ramírez, 2014, p.2).

1.3.7.9 Plant Simulation

Es una aplicación desarrollada por Siemens PLM software para modelar, simular, analizar, visualizar y optimizar sistemas productivos y de procesos, flujos de materiales y operaciones logísticas. Este software es utilizado por las empresas para todo tipo para planear estratégicamente layouts, lógicas de control y dimensiones complejas de grandes inversiones de producción; aunque el valor de este sistema es muy alto. (Ramírez, 2014, p.2).

1.3.7.10 Selección del programa de simulación

El trabajo de simulación de la planta de balanceado requiere un programa que sea capaz de simular, analizar, visualizar y optimizar un sistema productivo de manufactura, en un entorno 3D, que corra bajo la plataforma Windows, con el objeto de que se pueda utilizar un ordenador personal. Todas estas características son reunidas por el programa Flexsim, del cual además se tiene acceso a la licencia de la Universidad Técnica del Norte, razón por la cual fue seleccionado

para llevar el modelo de simulación de la planta, ya que la utilización de este programa con todas sus utilidades es sumamente costosa. (Ramírez, 2014, p.3).

1.3.8 FUNDAMENTOS DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN FLEXSIM

Flexsim, es un software de simulación industrial, que permite modelar, analizar, visualizar y optimizar cualquier proceso industrial, desde procesos de manufactura hasta cadenas de suministro. Flexsim, permite construir y ejecutar el modelo desarrollado en una simulación en un entorno 3D desde el inicio del proceso, es utilizado por empresas líderes en la industria para simular sus procesos productivos antes de llevarlos a la ejecución real, su uso se halla muy extendido en Estados Unidos y México, por lo cual existe una gran comunidad de desarrolladores que lo están utilizando y mejorando. (Master, 2012, p. 1).

La página web de Flexsim, da la posibilidad de descargar una multitud de herramientas adicionales al programa, tales como, modelos 3D y librerías para mejorar el desarrollo de los modelos. (Master, 2012, p. 1).

Un modelo desarrollado por medio de Flexsim, es básicamente un sistema de flujo de entidades (flowitems), colas (queues), procesos (processor) y sistemas de transporte (transportation). El proceso consiste en un retraso forzado (delay), realizado por una máquina, el transporte consiste en un movimiento de entidades de un recurso a otro y las colas son acumulamiento de entidades tipo FIFO a la entrada, esperando por su procesamiento. (Master, 2012, p. 1).

Básicamente un proceso de Flexsim consta de los siguientes recursos (Master, 2012, p. 2):

- Recursos constantes o fijos (fixed resources); aquí entrarían las colas (queues), las máquinas o procesos (processor) y las cintas transportadoras (conveyor). (Master, 2012, p. 2).

- Recursos compartidos (shared resources), en esta categoría están los operadores, a los que se les puede asignar propiedades de transporte, manejo de máquinas y rutas. (Master, 2012, p. 2).
- Recursos móviles (mobile resources), aquí están los sistemas de transportes que permiten modelar el software, tales como elevadores, transportadores de tornillo, montacargas, robots industriales, etc. (Master, 2012, p. 2).

Cómo elemento producido o producto en elaboración está la entidad que fluye por cada uno de los recursos del modelo, en flexsim se le denomina “flowitem”; dichas entidades pueden guardar información relativa a dicho producto, como etiquetas y labels, por ejemplo el código de barras de un producto y el tipo (“itemtype”), que tipifica a las entidades o productos en elaboración del modelo simulado, sus características generales o específicas y demás información relativa al bien, esto es muy útil si se toma en cuenta que el modelo es dinámico y puede cambiar sus propiedades. (Master, 2012, p. 1).

1.3.8.1 Vistas del modelo

Flexsim utiliza un ambiente de modelación tridimensional, tal como se puede observar en la figura 1.6, la vista por defecto para construir modelos se llama orthographic view o vista ortográfica, también se puede ver el modelo en 3D, en la vista en perspectiva. Generalmente es más fácil construir el modelo en la vista ortográfica y ver el modelo en vista 3D cuando se corre la modelación, pero se pueden abrir cuantas ventanas se quiera de Flexsim simultáneamente, ya que cada una puede mostrar una parte del modelo. (Master, 2012, p. 2).

El modelo se puede construir a partir de imágenes en formato de fotografía en dos dimensiones, las cuales sirven de base para la creación del modelo, utilizando objetos pre diseñados en Flexsim o dibujos realizados por el usuario. Esta característica produce una gran versatilidad en la creación de modelos con amplia variedad de objetos, que cubren prácticamente todo tipo de procesos industriales, por esta razón este software es utilizado en todo tipo de industrias a nivel mundial, ya que, con una interfaz colorida, en tres dimensiones y fácil de utilizar el usuario puede emular todo tipo de ambientes de fábricas y centros de servicio, que le

brindan una herramienta muy valiosa para su trabajo de simulación de maquinarias. (Master, 2012, p. 2).

La Figura 1.6, muestra la vista en dos dimensiones del programa, cada cual tiene diferente forma de apreciar el modelo, con distintas concepciones e información del mismo, siendo la vista en dos dimensiones más apta para colocar descripciones y explicaciones escritas, mientras que la vista en tres dimensiones nos da una mejor perspectiva espacial de los objetos. (Master, 2012, p. 2).

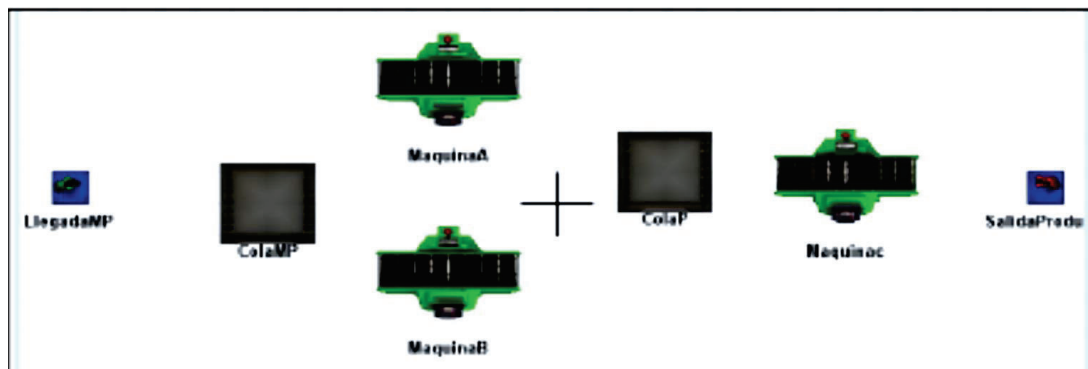


Figura 1.6 Vista ortográfica (2D) de un modelo en Flexsim
(Master, 2012, p. 1)

En la Figura 1.7, se muestra la vista en perspectiva del modelo de Flexsim, donde se puede apreciar de mejor manera el recorrido del operador y los flujos del material, las dos vistas son complementarias e indispensables para el entendimiento cabal de la simulación.

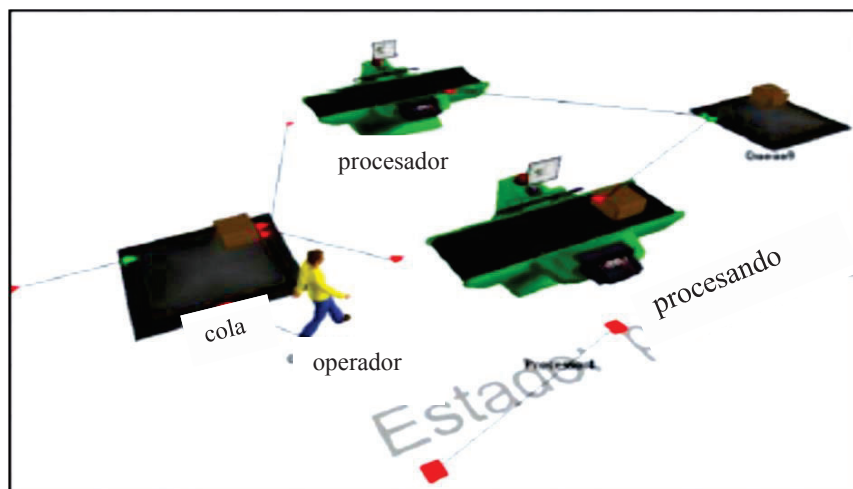


Figura 1.7 Vista en perspectiva (3D) de un modelo en Flexsim
(Master, 2012, p. 1)

1.3.8.2 Objetos utilizados para construir un modelo

Flexsim posee una serie de librerías de objetos para simular procesos industriales, principalmente se distinguen los objetos discretos y los objetos fluidos, aunque en la práctica solo se utiliza la primera librería para simulación de procesos industriales. (Master, 2012, p. 2).

La Figura 1.8, muestra los tipos más utilizados de la librería de componentes discretos y un árbol de clases donde se muestra la estructura de dicha clasificación, los cuales son usados para construir los modelos discretos de Flexsim, cabe anotar que existen más tipos y clases adicionales de componentes por lo cual este programa es muy versátil y muy utilizado por la industria para realizar simulaciones de procesos:

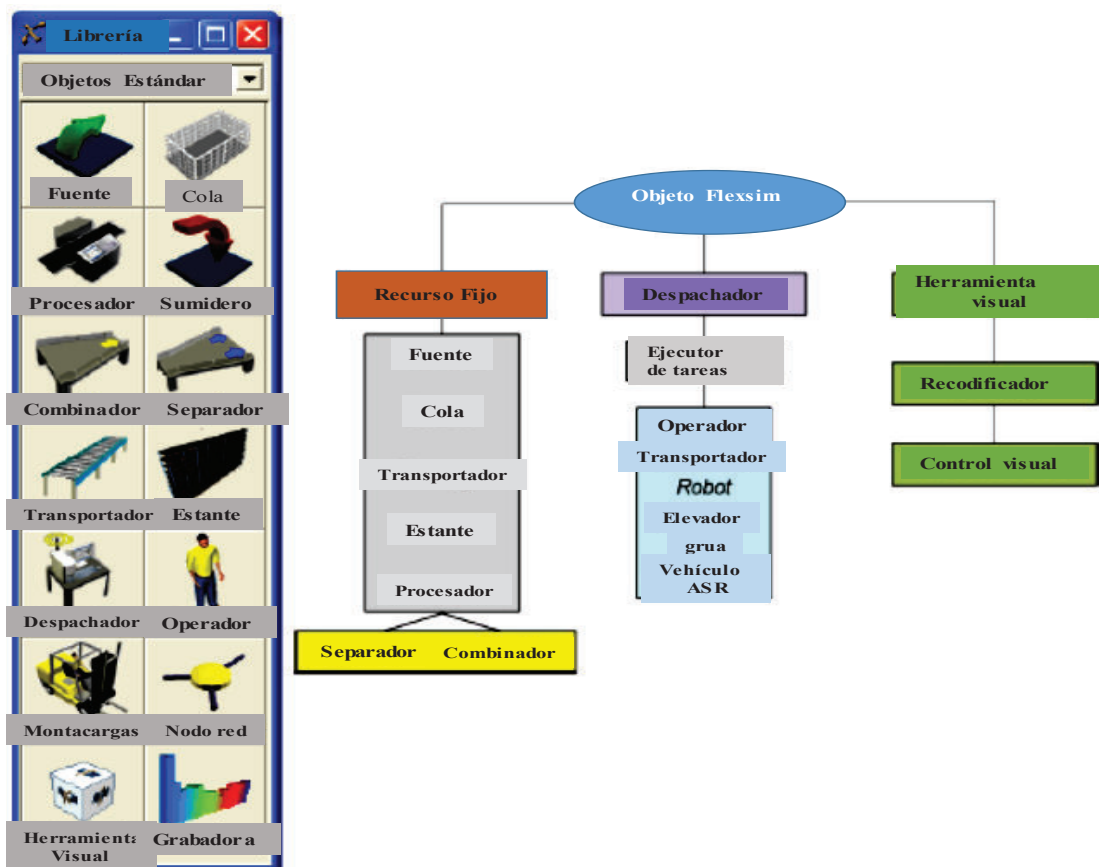


Figura 1.8 Librería de componentes discretos de Flexsim
(Master, 2012, p. 6)

Con estos objetos y otros más que tiene Flexsim, se puede construir un modelo discreto que represente con mucha aproximación a un proceso industrial, además cada objeto tiene una ventana de propiedades y otra de parámetros; para acceder a las propiedades se hace un click en el botón derecho del mouse sobre algún objeto que se tenga en el layout y se selecciona la opción properties, esta ventana es la misma para cualquier objeto, posee cuatro pestañas: visual, general, etiquetas estadísticas, "labels statistics".

1.3.9 ETAPAS DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

Los siguientes aspectos de un proyecto deben incluirse para asegurar un estudio de simulación exitoso, aplicable a cualquier software actual en tres dimensiones (Concannon et al. 2007, p. 36):

1.3.9.1 Identificar el objetivo

Consiste en escuchar a los usuarios de la planta sus requerimientos e ideas, lo cual dará al investigador una buena imagen de las variables y la estructura que les ayudarán a ellos a utilizar el modelo en su sistema efectivamente; en esta etapa se puede llegar a la conclusión de si la simulación es el mejor camino para resolver el problema. (Concannon et al. 2007, p. 36).

1.3.9.2 Identificar el nivel de detalle

Del nivel de detalle dependerá el costo y el tiempo que tomará el realizar el modelo, por eso se debe escoger el nivel preciso para la utilidad que se le dará a las conclusiones a obtenerse de la simulación, haciendo lo preciso para conseguir el resultado esperado, no más, ni menos. (Concannon et al. 2007, p. 36).

1.3.9.3 Determinar los procesos a incluirse

Depende del alcance del modelo el involucrar uno o varios procesos, dentro de la planta o incluir a proveedores y clientes. (Concannon et al. 2007, p. 36).

1.3.9.4 Crear un modelo en bruto

Se debe construir un modelo en bruto de la simulación tan rápido como sea posible, no importa que algún dato se omita o si este dato falla cuando el modelo

corra, lo mejor es “arrancar antes de estar listo”. Este modelo puede servir de prototipo para indicar a los clientes internos o externos y así convencerles de la hipótesis que se tiene en mente y sirve de guía para todo el trabajo posterior. (Concannon et al. 2007, p. 36).

1.3.9.5 Refinar el modelo

Este paso tiene a su vez dos características (Concannon et al. 2007, p. 36):

- Ser capaz de utilizar el software para construir un modelo robusto y resistente a todo tipo de pruebas.
- Poder diseñar una pantalla que realce los temas importantes del usuario, sin ocultar las causas raíz con una sobrecarga de información haciéndola clara y de fácil lectura.

1.3.9.6 Correr el modelo

Significa arrancar el reloj de la simulación y ver las unidades moviéndose alrededor del sistema, esta etapa puede proveer muchas ideas acerca de cómo el sistema trabaja y de cómo se puede mejorarlo, sin embargo, se deben seguir ciertos pasos claves para validar esos descubrimientos. (Concannon et al. 2007, p. 36).

1.3.9.7 Verificar el modelo

Verificar que el modelo está corriendo de la misma forma que el proceso en el mundo real, bajo las mismas condiciones, es el primer paso que se debe hacer después de correr el modelo o de hacer cualquier cambio en él, aunque es poco práctico en la realidad. Si la simulación es de un sistema real, esta verificación es el camino para ver si el modelo se comporta igual al real. Si el proceso real no existe, la única manera de verificarlo es experimentar cuidadosamente con el modelo, viendo la pantalla animada y las estadísticas para ver si los cambios observados en el computador, el comportamiento de la simulación es igual a la realidad. (Concannon et al. 2007, p. 36)

1.3.9.8 Determinar el tiempo de calentamiento

Todo modelo industrial requiere un tiempo de calentamiento, ya que usualmente los modelos arrancan vacíos, ningún producto en ninguna máquina. Un caso en el que no se requiere este tiempo de calentamiento, es cuando, se arranca una nueva planta con los stocks vacíos y los usuarios están interesados en el primer día de operación del sistema. También en el caso de un parqueadero, un aeropuerto o un taller, que siempre arrancan de cero, por lo que no necesitan de calentamiento, en cambio en el caso de los procesos industriales, siempre es necesario llenar los depósitos en el arranque. (Concannon et al. 2007, p. 36).

1.3.9.9 Explorar el modelo

Este es el paso más importante en el entendimiento de un proyecto de simulación, el paso siguiente en usar la simulación será diseñar y desarrollar una serie de experimentos para ver como la fábrica puede ser mejorada. Esto da al constructor del modelo y al usuario la oportunidad de entender como las diferentes partes del modelo interactúa con otras y como las medidas de desempeño pueden ser afectadas y ganar ideas acerca de cómo el sistema puede ser cambiado y mejorado. Al no ser este un método científico de obtener información, se debe planear cuidadosamente las series de ensayos para que se constituyan en experimentos controlados y den mejor resultado. (Concannon et al. 2007, p. 37)

1.3.9.10 Escoger escenarios y correr ensayos

Algunas ideas que han surgido de la observación del modelo, deben ser ensayadas, esto es particularmente importante si existen muchas ideas que compiten entre ellas y es difícil visualizar cual es la mejor. Para esto se deben plantear distintos escenarios en los cuales algún aspecto ha sido cambiado. (Concannon et al. 2007, p. 36).

Es importante recordar que la simulación contiene números ramdomicos y que, si una semana de producción está siendo simulada, los resultados obtenidos aplican

solamente a una semana, por ejemplo, una semana de suerte en que pocas máquinas paren, por eso es necesario correr el modelo con diferentes corrientes de números cada vez, lo cual garantizará que los resultados sean lo más apegados a la realidad que sea posible. (Concannon et al. 2007, p. 36).

Esta etapa es la más importante de la simulación, ya que de ella salen los resultados del trabajo realizado durante todo el proceso de cuya interpretación dependerá el éxito de todo el proyecto de simulación. (Concannon et al. 2007, p. 36).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Reproavi Cía. Ltda., fue constituida el 25 de julio de 1995, con el fin de contribuir a la nutrición de la población del centro y norte del País, mediante la producción y venta de aves de corral, con altos estándares de calidad, productividad y competitividad.

La empresa está domiciliada para fines tributarios en Quito, donde está ubicado su departamento de comercialización, sus granjas están en varios cantones de Imbabura, su incubadora está en Ambuquí, la planta productora de alimento balanceado y la planta de faenamiento y procesamiento está en la parroquia de Caranqui, el sector urbano de Yuyucocha en la ciudad de Ibarra.

La empresa tiene la estructura de producción, graficada en la Figura 2.1:

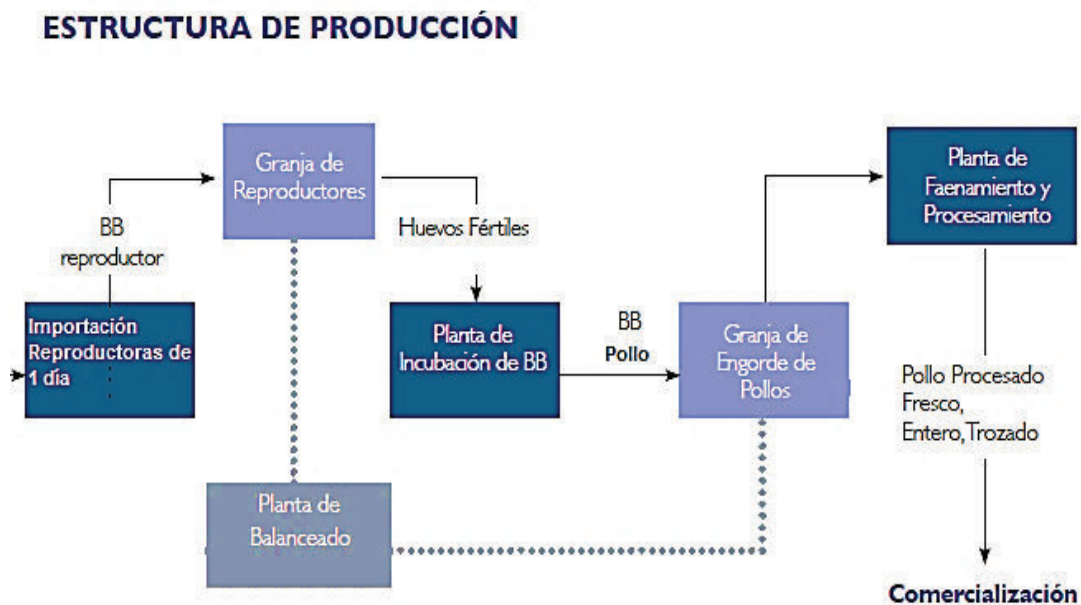


Figura 2.1 Estructura de Producción Reproavi Cía. Ltda.
(Caisachana y Cadena, 2014, p. 98)

Reproavi Cía. Ltda., tiene toda la cadena de producción de pollos, importa de USA las reproductoras de un día, ya que estas aves representan la mejora genética para el buen desarrollo de los pollos de engorde, los BB reproductores van a las

dos granjas que tiene la empresa, desde donde se obtienen los huevos fértiles que mediante las incubadoras dan origen a los pollos de engorde, que se crían en las ocho granjas, para luego ser faenados en la planta automatizada con capacidad de 2 000 pollos por hora de cuyos cuartos fríos salen los vehículos refrigerados hacia los destinos de comercialización, especialmente en Quito, Ambato y Latacunga.

La planta de balanceado, forma parte de la estructura productiva de la empresa, ya que provee de alimentos a las dos granjas de reproductoras y ocho granjas de engorde de pollos de Reproavi, esta instalación se constituye uno de sus pilares, ya que se estima que alrededor del 60 % del costo de producción de la empresa recae en la producción del alimento. En la Figura 2.2 se observan las mezcladoras de la planta.



Figura 2.2 Mezcladoras de la planta de balanceado

2.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

La planta de elaboración de alimento balanceado tiene el equipamiento que se detalla en la Tabla 2.1 con sus capacidades y detalles generales, para que sirva como idea general de la planta:

Tabla 2.1 Equipos de la planta de elaboración de alimento balanceado de la Empresa Reproavi Cía. Ltda.

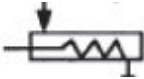

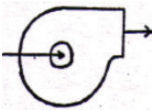

NOMBRE EQUIPO	CAPACIDAD
Tornillo transportador de recepción de maíz. 	35 ton/h, largo 8 m.
Elevador N. 1 	35 ton/h, altura 9,5 m
Ventilador 	Especificaciones no disponibles
Filtro ciclón separador de impurezas. 	Especificaciones no disponibles

Tabla 2.1 Equipos de la planta de elaboración de alimento balanceado de la Empresa Reproavi Cía. Ltda. (Continuación...)

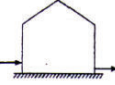
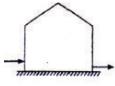
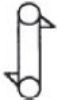


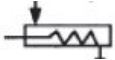
<p>Silo N. 1</p> 	<p>Capacidad 650 Ton, alto 14,7 m, diámetro 8,28 m; descarga por tornillo transportador, piso plano, metálico.</p>
<p>Silo N. 2</p> 	<p>Capacidad 750 Ton, alto 14,5 m, diámetro 9,23 m; descarga por tornillo transportador y cadena de arrastre, piso plano, metálico.</p>
<p>Elevador N. 2</p> 	<p>35 ton/h, altura 24,6 m.</p>
<p>Tolva N. 1</p> 	<p>Capacidad 14000 kg.</p>
<p>Molino de martillos</p> 	<p>Capacidad 25 ton/h, equipado con cribas regulables a la salida.</p>
<p>Tornillos transportadores de descarga del molino.</p> 	<p>Capacidad 35 ton/h.</p>

Tabla 2.1 Equipos de la planta de elaboración de alimento balanceado de la Empresa Reproavi Cía. Ltda. (Continuación...)








<p>Elevador N. 3</p> 	<p>35 ton/h, altura 24,6 m.</p>
<p>Tolva N. 2</p> 	<p>Capacidad 12000 kg.</p>
<p>Tolva N. 3</p> 	<p>Capacidad 12000 kg.</p>
<p>Tolva N. 4</p> 	<p>Capacidad 7000 kg.</p>
<p>Tolva N. 5</p> 	<p>Capacidad 12000 kg.</p>
<p>Mezcladora Vertical N. 1</p> 	<p>Capacidad 2 Ton/lote</p>
<p>Mezcladora Vertical N. 2</p> 	<p>Capacidad 2 Ton/lote</p>

Tabla 2.1 Equipos de la planta de elaboración de alimento balanceado de la Empresa Reproavi Cía. Ltda. (Continuación...)





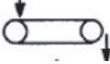

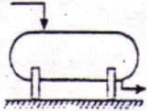
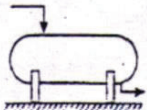
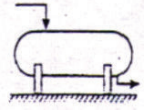
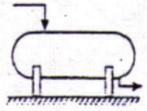
<p>Elevador N. 4 de rechazo</p> 	<p>35 ton/h, altura 24,6 m.</p>
<p>Elevador N. 5</p> 	<p>35 ton/h, altura 24,6 m.</p>
<p>Tolvas N. 9 y 10</p> 	<p>Capacidad 24000 kg.</p>
<p>Ensacadora y pesadora</p> 	<p>Capacidad 13,3 ton/h</p>
<p>Banda Transportadora</p> 	<p>Capacidad 13,3 ton/h</p>
<p>Caldero</p> 	<p>Sin funcionar</p>

Tabla 2.1 Equipos de la planta de elaboración de alimento balanceado de la Empresa Reproavi Cía. Ltda. (Continuación...)

<p>Tanque de aceite de palma</p> 	<p>Capacidad 18,90 m³ (5000 gal).</p>
<p>Tanque de melaza</p> 	<p>Capacidad 11,34 m³ (3000 gal).</p>
<p>Tanque para diésel</p> 	<p>Capacidad 7,56 m³ (2000 gal).</p>
<p>Tanque de reserva</p> 	<p>Capacidad 7,56 m³ (2000 gal.) (sin funcionar)</p>

Cabe anotar que todo el equipamiento de la empresa, a excepción del silo N. 2, datan de la década de 1970, ya que la planta fue adquirida hace aproximadamente 10 años por Reproavi a Molinos Champion de Guayaquil, quienes la tenían como estación de molienda de sus productos en Imbabura, luego estuvieron arrendados por cinco años a la misma empresa, antes de ser comprados definitivamente.

No todos los equipos están funcionando actualmente, debido a que el proceso de fabricación de alimento balanceado en pellets está suspendido, por esto el caldero y algunos tanques de almacenamiento están sin funcionar.

Actualmente solo se produce alimento balanceado pulverizado para consumo en las granjas propias de la empresa, por lo cual la Dirección de la empresa desea aumentar la producción sin realizar una gran inversión, ya que la crisis que actualmente atraviesan las empresas ecuatorianas no permite que dispongan de liquides económica para sus proyectos, pero dicha ampliación de producción permitirá ingresar como proveedor de alimentos balanceados para aves al mercado de Imbabura y Carchi, generando otra fuente de ingresos para Reproavi Cía. Ltda., estrategia que mejorará sus resultados económicos, que actualmente están un tanto disminuidos.

En la Figura 2.3 se observa la máquina ensacadora de la planta:



Figura 2.3 Ensacadora de la planta de balanceado

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA

A continuación, se detalla el proceso de la planta de elaboración de balanceados de Reproavi Cía. Ltda., con el objeto de posteriormente estudiar las restricciones que se hallen en el proceso productivo de esta fábrica.

El proceso es tradicional en esta rama, la maquinaria data de los años 1970 y no ha sido renovada por la empresa, además, el proceso de elaboración de alimento

balanceado en pellets está suspendido, por lo que el producto se elabora solo en polvo.

Los alimentos balanceados para pollos de Reproavi, se elaboran básicamente a partir de macro ingredientes, que son el maíz duro y torta de soya que son nacionales o importados, su origen depende de la estacionalidad de las cosechas de maíz de la costa ecuatoriana, en un 98 % en peso aproximadamente y micro ingredientes, los cuales son: atrapanes de micro toxinas, anti coccidiales, medicamentos, aminoácidos, inhibidores y minerales en un 2 % en peso, aproximadamente, pero que en precio su valor es alto, debido a que casi todos son importados, siendo además muy importantes para la salud y crecimiento de los pollos en sus diferentes etapas de crecimiento.

El diagrama del proceso de elaboración del alimento balanceado es el representado en la Figura 2.4:

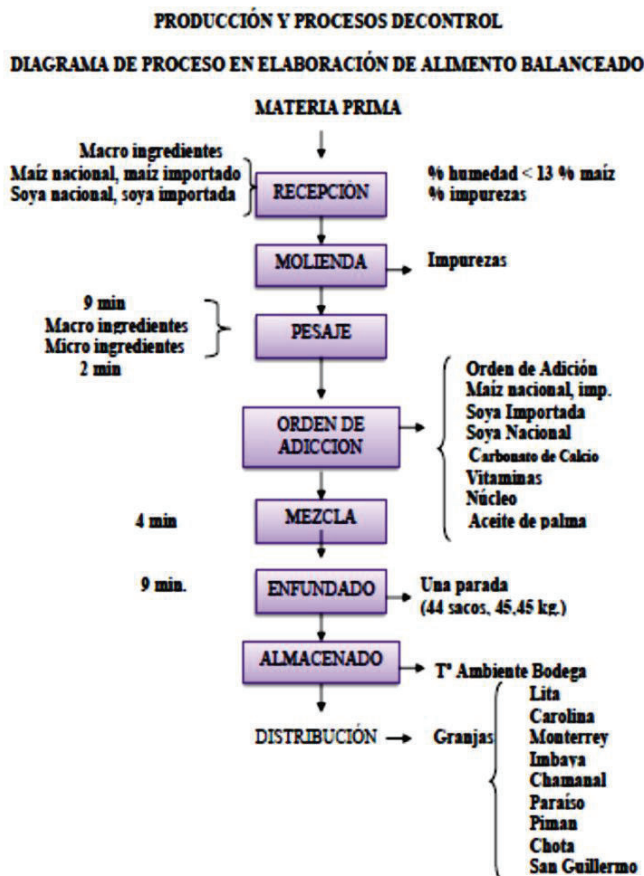


Figura 2.4 Diagrama de proceso en producción de alimento balanceado (Reproavi, 2016, p. 1)

Los macro ingredientes se reciben principalmente a granel, se descargan sobre un tornillo transportador para luego ser elevados por medio de cangilones a los silos de 650 y 750 Ton, los silos están ubicados fuera del galpón principal, desde los cuales son extraídos los macro ingredientes por medio de tornillos transportadores, cadenas de arrastre y elevadores de cangilones hasta la tolva N.1 de 1,4 Ton de capacidad y desde allí por gravedad al molino de capacidad 25 Ton/h, todos los macro ingredientes deben tener una humedad menor al 13 %, para que el proceso funcione bien; de la molienda salen como rechazo impurezas que son tamizadas luego del molino y que son eliminadas del proceso, desde el tamiz de salida del molino el material se descarga a dos tornillos transportadores que lo llevan hasta el elevador N.3 y este equipo descarga en una de las cuatro tolvas de almacenamiento de los macro ingredientes molidos, con una capacidad total de 55000 kg (55 Ton). El detalle de estas tolvas se presenta en el Anexo N. 1, en el plano de implantación de la fábrica de alimentos balanceados de Reproavi Cía. Ltda.

Luego los macro ingredientes molidos se descargan de las tolvas y durante 9 min aproximadamente, se pesan manualmente los macro ingredientes, durante 2 min aproximadamente y se adicionan a las dos mezcladoras de capacidad 2 Ton/lote, que están instaladas cerca de las tolvas. El orden de adición es: maíz nacional o importado, soya importada o nacional, carbonato de calcio como excipiente y en él previamente vienen mezclados los micro nutrientes, para que se facilite su inserción en los macro nutrientes y por último se coloca el aceite de palma o melaza si fuera el caso.

La acción de mezclado demora aproximadamente 4 min en cada máquina que es de tornillo sin fin vertical, posteriormente el material se lleva por medio de un tornillo transportador al elevador 5 y desde este equipo se descarga a las tolvas 9 y 10 de capacidad 24 000 kg, que alimentan a la báscula, ensacadora y cosedora.

El enfundado se hace en sacos de yute de 45,45 kg, se desarrolla en 9 min para un lote de 44 sacos (2 000 kg. o 2 Ton.). Posteriormente los sacos se trasladan mediante un montacargas de 1,5 Ton de capacidad en pallets de 30 sacos al piso adyacente de la bodega, donde se conservan a temperatura ambiente para luego ser transportadas mediante camiones a las granjas de Lita, La Carolina, Monterrey,

Imbaya, Chamanal, Paraíso, Pimán, Chota o San Guillermo; todas dichas propiedades están dentro de la provincia de Imbabura, a distancias que varían entre 10 y 40 km de la planta de elaboración del alimento balanceado para aves.

2.4 MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE LA RESTRICCIÓN

La determinación de la restricción en el proceso de fabricación de alimento balanceado en la empresa Reproavi Cía. Ltda., se hizo en base de mediciones y observaciones realizadas en la planta de molienda ubicada en la calle Hernán Gonzáles de Saa y Marco Tulio Hidrovo en la parroquia Caranqui de la ciudad de Ibarra, con cuyos valores se elaboró un modelo del proceso industrial en el programa de simulación Flexsim.

El proceso de modelación y optimización del sistema se siguió de acuerdo al procedimiento iterativo de la figura 2.5. Para ello se empleó FlexSim, versión 7.7.4 y sus paquetes Experfit y Experimenter en el procesamiento estadístico de datos y la optimización, respectivamente. Mientras que para la recopilación de la información numérica se utilizó el Excel.

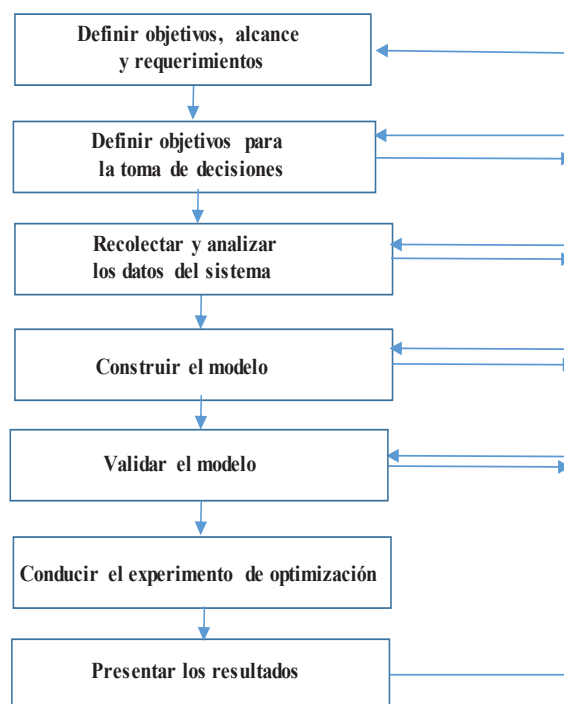


Figura 2.5 Proceso iterativo de la simulación
(Concannon et al. 2007, p. 10)

2.4.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE

El desarrollo de este modelo de simulación, parte con el almacenamiento de los macro ingredientes (maíz y soya) y micro ingredientes, luego el proceso de producción de los tres principales productos y finalmente el almacenamiento del alimento balanceado en el área para producto terminado, todo esto constituye el alcance de la simulación a desarrollar.

Es importante una precisa delimitación del modelo a construirse con el fin de tener una cabal idea de todas las variables a estudiarse, para cumplir con los objetivos de la investigación y de la simulación precisamente; al hacer esto se está garantizando la precisión y objetividad del modelo.

2.4.1.1 Objetivo general de la simulación

Identificar las restricciones del sistema mediante el desarrollo de un modelo de simulación en FlexSim, versión 7.7.4, que permita detectar posibilidades de mejora, del proceso de producción de la planta de elaboración de alimentos balanceados de la empresa Reproavi Cía. Ltda.

El trabajo se realizará utilizando todos los principios de la teoría de restricciones, ya que la simulación es una herramienta para de una forma relativamente fácil y económica cumplir con todas las etapas de dicha teoría, sin intervenir físicamente ni distorsionar el proceso productivo que se está llevando a cabo en la planta y que no puede ser perturbado ni detenido.

2.4.1.2 Objetivos específicos de la simulación

Los objetivos específicos de la simulación que sirvieron para configurar el modelo elaborado en el programa Flexsim, estos son los parámetros que requiere dicho modelo para funcionar correctamente y ofrecer los resultados que se espera de él, sin esta parametrización, no se podría configurar correctamente el programa, ya que responde a una lógica del proceso; estos se presentan en la Tabla 2.2 de la página siguiente:

Tabla 2.2 Objetivos específicos de la simulación

Objetivos específicos de la simulación	Variable dependiente	Denominación	Unidad de medida
Determinar el rendimiento para las tres operaciones principales del proceso.	Rendimiento molino	RMo	(qq/min)
	Rendimiento mezclado	RMe	(qq/min)
	Rendimiento enfundado	REn	(qq/min)
Analizar la continuidad del sistema.	Porcentaje de bloqueo de los elementos del sistema i	Bloqueo _{i}	(%)
	Porcentaje de utilización de las máquinas i	Processing _{i}	(%)
Analizar la utilización de los recursos.	Promedio del porcentaje de desocupación de los operarios de mezclado	IOM _{i}	(%)
	Promedio del porcentaje de desocupación de los operarios de enfundado	IOE _{i}	(%)
Determinar el rendimiento total del proceso de producción de balanceado	Total de quintales producidos en el día.	Total Output Formado	(qq/semana)






En la Tabla 2.2 se puede observar que los rendimientos de las tres principales áreas a ser analizadas en el modelo, como son: molino, mezcladoras y ensacadora; el porcentaje de bloqueo de dichas máquinas, el promedio del porcentaje de desocupación de los operarios de mezclado y enfundado y el total de quintales de alimento balanceado producidos en un día de operación, son los objetivos principales de la construcción del modelo de simulación.

2.4.1.3 Antecedentes de la construcción del modelo

El modelo se elaboró en base al siguiente flujograma, elaborado con base en el proceso industrial de la planta de alimentos balanceados de Reproavi Cía. Ltda.,

el cual en conjunto con el layout que consta en el anexo I, sirvieron de base para la construcción del modelo de simulación en el programa Flexsim.

El flujograma de la Figura 2.6, detalla en forma gráfica la secuencia de los procesos de la estación de molienda de alimentos balanceados, en base al cual se diseñó el modelo inicial de Flexsim.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO							
						Actual	No. 1
RESUMEN						#	Tpo
	Operaciones					5	1193
	Transporte					3	4056
	Controles					0	
	Esperas					0	
	Almacenamiento					4	2676
TOTAL							7925
						Elaborado por: Autor	
						Fecha: 15 de diciembre del 2016	
























































Descripción Actividades	Op.	Trp.	Ctr.	Esp.	Alm.	Tiempo (s)
1 Recepción de materia prima						3600
2 Almacenamiento de materia prima						1800
3 Transporte macro ingredientes a molienda						60
4 Molienda de maíz y torta de soya						396
5 Transporte macro ingredientes a molidos						396
6 Almacenamiento de macro ingredientes						396
7 Pesaje de macro y micro ingredientes						540
8 Dosificación y mezcla de macro y micro ingredientes						240
9 Almacenamiento de alimento balanceado sin ensacar						240
10 Enfundado de alimento balanceado						14
11 Cosido de saco						3
12 Almacenamiento de sacos						240
TOTAL						7925

Figura 2.6 Flujograma de proceso de la producción de alimento balanceado en la Empresa Reproavi Cía. Ltda.

Primero se estudió a fondo el proceso productivo, con el fin de elaborar el modelo lo más sencillo, pero que debe ser completo para conseguir los resultados deseados para la teoría de restricciones que se está aplicando en este trabajo de investigación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RECOLECTAR Y ANALIZAR LOS DATOS DEL SISTEMA

Para el desarrollo de este paso se dividieron los datos en tres categorías: operativos, estructurales y numéricos. Los primeros identifican el proceso operativo que tiene el sistema representado en diagramas de flujo, los segundos destinados a la definición de los elementos del sistema, tales como: fuentes “sources”, ítems de flujo “flow ítems”, colas “queues”, procesadores “processors”, operadores “operators”, combinadores “combiners”, separadores “separators”, salidas “sinks” y redes “networks”; mientras que los terceros a la toma de datos y análisis estadístico de los mismos. Estos datos fueron tomados para el alcance definido, en búsqueda de lograr que el modelo trabaje tal como opera el sistema real.

3.1.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS OPERATIVOS

La recepción de materia prima, macro ingredientes, se hace en cuanto al maíz y a la torta de soya en camiones de 30 ton. de capacidad al granel, siendo estos productos de origen nacional o importados; esta zona de recepción y almacenamiento de macro ingredientes involucra el tornillo sin fin de recepción de material, el elevador N°1, el ventilador y el filtro ciclónico de limpieza de impurezas, los silos N°1, capacidad 750 ton de almacenamiento de maíz y N°2 de 650 ton de almacenamiento de torta de soya, así como el elevador N°2 que sirve tanto para alimentar los silos N°1 y N°2, cómo también para transportar los macro ingredientes a la tolva N°1 que alimenta al molino.

La zona de recepción y almacenamiento de macro ingredientes se puede catalogar fuera del proceso principal de la estación de molienda, ya que se maneja con el objetivo de mantener llenos siempre los dos grandes silos de maíz de 750 ton y torta de soya de 650 ton, los cuales representan un gran amortiguador para el proceso, por lo cual no son una restricción para este y no se representan en el

modelo que con esta medida gana simplicidad, sin perder precisión en sus detalles y es mucho más manejable.

Por facilidad de elaboración del modelo en Flexsim, se utilizó la librería de objetos discretos, tomando todas las entidades de macro ingredientes en quintales, debido a que la planta trabaja de esta manera y las entidades de micro ingredientes en paquetes proporcionales a las cantidades de las recetas.

El modelo empieza desde la tolva N°1 que alimenta el molino, luego de esta máquina pasan los materiales molidos a los dos tornillos transportadores y a el elevador N°3, del cual según la receta que se esté moliendo, existen cuatro tolvas para almacenamiento, torta de soya, maíz molido pre inicial, maíz molido inicial o maíz molido engorde. En la Figura 3.1, se ilustra la vista del sector de tolvas de macro ingredientes y mezcladoras del modelo Flexsim.

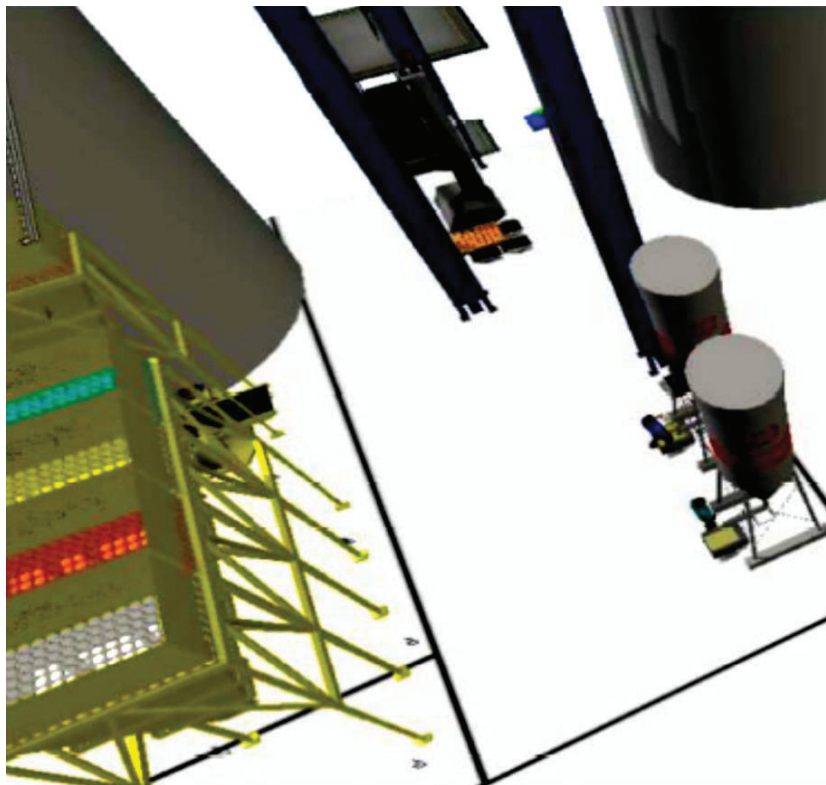


Figura 3.1 Vista del sector de tolvas de macro ingredientes y de las mezcladoras en el modelo de simulación Flexsim

El modelo sigue con el pesaje de los macro ingredientes y micro ingredientes, el cargado a las dos mezcladoras, el tiempo de mezcla en ellas, luego el transporte por el tornillo transportador que recoge lo que las mezcladoras descargan, el elevador y la tubería que lleva el material a las tolvas sobre la ensacadora, su pesaje, enfundado y cosido, su paletizado y transporte a la bodega de sacos. En la Figura 3.2, se ilustra la vista del sector en el modelo.

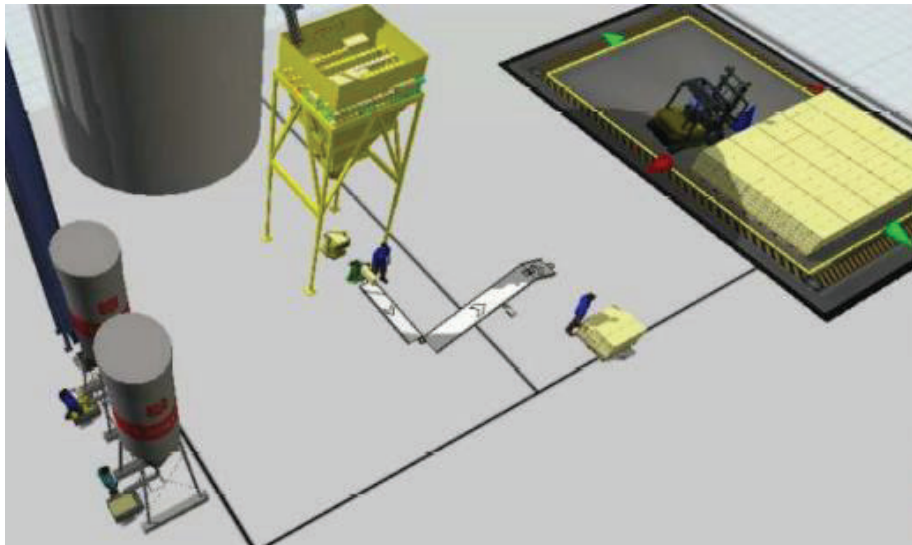


Figura 3.2 Vista del sector de mezcladoras, tolva ensacadora, paletizado y transporte a la bodega de sacos en el modelo de simulación Flexsim

Previamente a la parametrización del modelo se recogieron datos en la planta de balanceados, los parámetros del molino de martillos se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos de operación del molino de martillos

OPERACIÓN MOLINO				
PRODUCTO	CAPACIDAD DE PRODUCCION (ton/h)	CAPACIDAD DE PRODUCCION (qq/h)	TIEMPO DE PROCESAMIENTO (h/parada)	TIEMPO DE PROCESAMIENTO (seg/parada)
PREINICIAL	20	400	0,099	356
INICIAL	25	500	0,079	284
ENGORDE	25	500	0,079	284
SOYA	27	540	0,073	263

1 parada= 44qq (1980 Kg)

Con el objeto de consolidar el modelo discreto, se estableció como estándar de la operación del molino de martillos que una parada sea igual a 44 quintales.

La Tabla 3.2 muestra los datos operativos de los tornillos transportadores que llevan el maíz o la soya molidos al elevador N° 3 y de allí a las tolvas N° 2 a N° 6 de almacenamiento de macro ingredientes; dichos equipos tienen una gran capacidad de transporte de 35 ton/h y su amortiguador son las tolvas, por lo cual no ameritan un análisis de restricciones.

Tabla 3.2 Datos de operación de los tornillos transportadores del molino y del elevador N°3

DATOS TORNILLOS TRANSPORTADORES MOLINO Y ELEVADOR N. 3		
	TRANSPORTE	
ELEMENTOS	TORNILLOS SIN FIN	ELEVADOR
CAPACIDAD	35 ton/h	35 ton/h
ALTURA/LONGITUD	LTI=3,7 m y LT2= 6,2 m	27 m
DIÁMETRO	0,65 m	

En cuanto a las tolvas que reciben los materiales molidos, se considerarán solo cuatro tolvas, ya que los depósitos 4 y 5 sirven para el maíz molido para engorde, cómo se detalla en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3 Datos de las tolvas de almacenamiento de los materiales molidos

DATOS DE LAS TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE MATERIALES MOLIDOS				
ELEMENTOS	TOLVA 2 (PREINICIAL)	TOLVA 3 (INICIAL)	TOLVA 4/5 (ENGORDE)	TOLVA 6 (SOYA)
CAPACIDAD	12 ton	12 ton	19 ton	12 ton
DIMENSIONES (m)	3X1,45X7,4 m	3X1,45X7,4 m	3X2,35X7,4 m	3X1,45X7,4 m

Los coches – balanzas utilizados para el transporte de los macronutrientes desde las tolvas N. 2 al 5 y el de los micros nutrientes desde su depósito hasta las mezcladoras, los cuales son de diferentes tamaños, debido a la diferencia de

proporción de la dosificación de estos dos componentes del alimento balanceado; el recorrido que hacen los operadores es manual, con cada uno de los coches, por lo que en el modelo se fijó una velocidad estimada conseguida en base a mediciones de cronometraje, tienen las características que constan en la Tabla 3.4, utilizando la equivalencia de 270 kg para 6 quintales, 27 kg para 0,594 qq, cada coche balanza es diferente del otro, ya que las características de cada material son diferentes del otro:

Tabla 3.4 Datos de los coches balanza de transporte de los macro y micro ingredientes desde las tolvas y bodega a las mezcladoras

DATOS DE LOS COCHES BALANZA DE TRANSPORTE DE LOS MACRO Y MICRO INGREDIENTES		
ELEMENTOS	COCHE BALANZA MACRO INGREDIENTES	COCHE BALANZA MICRO INGREDIENTES
CAPACIDAD	270 kg (6 qq)	27 kg (0,594 qq)
DIMENSIONES (m)	1.4X0.78X1.08	0.7X0.36X0.54

Se midieron los tiempos de desplazamiento de los operarios que llevan los coches de macro ingredientes, con el objeto de determinar la velocidad promedio de ellos para la parametrización del modelo, lo cual se representa en la Tabla 3.5, la cual fue el resultado de 18 mediciones de velocidades tomadas en el sitio de transporte de macro ingredientes a las mezcladoras, desde la bodega de estos materiales, ubicada aproximadamente a 6 metros, utilizando los mencionados coches, de su velocidad depende en gran medida la capacidad y el rendimiento de las mezcladoras, ya que el proceso es manual en este punto del sistema, siendo las tolvas de macro ingredientes de gran capacidad, 12 ton de maíz molido para fórmula pre inicial, 12 ton de maíz molido para fórmula inicial, 19 ton de maíz molido para fórmula de engorde y 12 ton de torta de soya molida para mezclar con los macro ingredientes, todo este almacenamiento de proporciona un gran amortiguador al proceso de elaboración de alimento balanceado, haciendo que el molino que antecede a las tolvas y es de capacidad muy grande frente a las mezcladoras, ensacadora y cosedora, pueda estar parado por largos periodos.

Tabla 3.5 Cálculo de la velocidad promedio del movimiento de los operarios que llevan los macro ingredientes de las tolvas a las mezcladoras

VELOCIDAD DE OPERARIOS TRANSPORTE MACROINGREDIENTES		
DISTANCIA TOLVAS A MEZCLADORAS (m)	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)
6	5	0,80
6	5	0,85
6	5	0,81
6	5	0,84
6	5	0,84
6	5	0,82
6	5	0,83
6	5	0,85
6	5	0,86
6	5	0,84
6	5	0,83
6	5	0,82
6	5	0,80
6	5	0,83
6	5	0,82
6	5	0,80
6	5	0,82
6	5	0,80
	PROMEDIO	0,83

En la Tabla 3.6 se presenta el cálculo de la velocidad promedio de los operarios que llevan los coches de micro ingredientes desde la bodega de dichos productos a las mezcladoras para dosificarlas, al igual que en el caso de la velocidad de los macro ingredientes, es un proceso totalmente manual, que en base al gran almacenamiento que posee la planta con respecto a los micro ingredientes, cuyas cantidades de dosificación son pequeñas en proporción a los macro ingredientes, estando entre el 0,27 % y el 1,38 % con respecto a los macro ingredientes, permite también que las mezcladoras puedan variar su capacidad en gran medida y que el molino permanezca grandes periodos detenido.

Tabla 3.6 Cálculo de la velocidad promedio del movimiento de los operarios que llevan los micro ingredientes de la bodega a las mezcladoras

VELOCIDAD DE OPERARIOS TRANSPORTE MICROINGREDIENTES		
DISTANCIA BODEGA MICRO INGREDIENTES A MEZCLADORAS (m)	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)
12	10	0,80
12	10	0,85
12	10	0,84
12	10	0,84
12	10	0,86
12	10	0,82
12	10	0,83
12	10	0,85
12	10	0,86
12	10	0,84
12	10	0,83
12	10	0,82
12	10	0,80
12	10	0,83
12	9	0,79
12	10	0,80
12	9	0,79
12	10	0,80
	PROMEDIO	0,83

De los promedios de las Tablas 3.5 y 3.6 se puede concluir que el valor medio general de la velocidad de los operarios que llevan macro y micro ingredientes a las mezcladoras es de 0,83 m/s, dato que fue ingresado en el modelo Flexsim.

Las mezcladoras son capaces de procesar 2 ton por cada parada, luego el material se transporta por un tornillo transportador al elevador que le llevará a las tolvas 7 y 8, que están sobre la ensacadora, para luego de enfundados los sacos pasarán por la cosedora y por medio de la banda transportadora pasarán a ser paletizados por el operario para luego ser transportados por el montacargas a la bodega de

sacos. Los datos de las maquinarias que sirvieron de base para parametrizar el modelo se muestran en las siguientes Tablas 3.7, 3.8 y 3.9:

Tabla 3.7 Datos operativos de las maquinarias desde las mezcladoras hasta el almacenamiento en tolvas 9 y 10

	MEZCLADO	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO
ELEMENTOS	MEZCLADORAS (2) Y DOS OPERARIOS	ELEVADOR 5	TOLVAS 9 Y 10
CAPACIDAD	2 ton/4min C/U	35 ton/h	10 ton
DIMENSIONES (m)	6,5	27	3X2,9X7,4

En la Tabla 3.8, se presentan los datos operativos de las maquinarias desde la ensacadora, incluyendo la cosedora y las tres bandas de salida.

Tabla 3.8 Datos operativos de las maquinarias desde las ensacadoras hasta el transporte por bandas

	ENSACADO	COSIDO	TRANSPORTE		
ELEMENTOS	ENSACADORA	COSEDORA	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3
VELOCIDAD	14 s/qq	3 s/qq			
DIMENSIONES (m)			3,3X0,5X0,4	3X6,2	0,9X6,2

En la Tabla 3.9 se presentan los datos operativos de las maquinarias desde el apilamiento de sacos hasta su almacenamiento.

Tabla 3.9 Datos operativos de las maquinarias desde el apilamiento al almacenamiento

	APILAMIENTO	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO
ELEMENTOS	OPERARIO	MONTACARGAS	BODEGA
CAPACIDAD PALLET	30 qq/pallet	30 qq/pallet	
CAPACIDAD		1,5 ton	2000 qq

En el molino se producen básicamente tres productos, balanceado pre inicial, para pollos de 0 a 2 semanas, balanceado inicial para pollos de 2 a 4 semanas y

balanceado de engorde para pollos de 4 a 6 semanas; la composición de los ingredientes para estas tres fórmulas se presenta en las siguientes dos tablas, siempre considerando los macro y micro ingredientes, los cuales son parte de todas las formulaciones, en distintas proporciones que dan su característica a cada tipo de fórmula, los cuales se detallan en las Tablas 3.10 y 3.11:

Tabla 3.10 Composición de los productos de la planta de alimento balanceado para aves en porcentaje

COMPOSICIÓN PRODUCTOS (%)			
PRODUCTO	MACRO NUTRIENTES		MICRO NUTRIENTES
	MAÍZ	SOYA Y AFRECHILLO	
PRE INICIAL	61,42	37,2	1,38
INICIAL	65,4	34,00	0,60
ENGORDE	77,73	22,00	0,27

En la Tabla 3.11, se presenta la composición de los productos de la planta de alimento balanceado para aves en quintales para una parada de 44 qq.

Tabla 3.11 Composición de los productos de la planta de alimento balanceado para aves en quintales para una parada de 44 qq.

COMPOSICIÓN PRODUCTOS (qq)			
PRODUCTO	MACRO NUTRIENTES		MICRO NUTRIENTES
	MAÍZ	SOYA Y AFRECHILLO	
PRE INICIAL	27,10	16,38	0,60
INICIAL	28,83	14,99	0,26
ENGORDE	34,26	9,70	0,12

3.1.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTRUCTURALES

El modelo necesita para su operación de la definición de varios tipos de elementos, los cuales se detallan a continuación, de acuerdo con el manual del programa Flexsim de simulación industrial, dichos elementos son indispensables para el correcto desempeño del sistema:

3.1.2.1 “Flow items”

Se definieron seis elementos ítems de flujo, “flow ítems” sobre la base de las entidades que ingresan al sistema, estas son: maíz, soya, micronutrientes, la entidad que permite formar cada coche, otra para formar el quintal y finalmente la que permite agrupar en pallets, todo esto se realizó para dar consistencia y fluidez al modelo de simulación.

3.1.2.2 “Fixed resources”

Se definieron seis fuentes, “sources” para generar los seis elementos de flujo, “flow ítems” definidos anteriormente; y una fuente “sink”, para eliminar las entidades que salen del sistema. En el proceso, el almacenamiento en los silos de los macro ingredientes y el almacenamiento de los micros ingredientes son representados por tres colas (“queues”) de diferentes capacidades. Además, la tolva para el molino, las cuatro tolvas de almacenamiento para el pesado y las dos tolvas para el enfundado también son representadas por colas “queues”, al igual que el área de almacenamiento de producto terminado.

El molino es representado por un elemento procesador “processor”, las mezcladoras verticales son representadas por dos elementos combinadores “combiners”, al igual que la ensacadora, mientras que la cosedora es representada por otro elemento procesador “processor”. Para el transporte de los silos al molino se utilizó un elevador y elemento transportador, “conveyor” que reemplaza a la tubería, del molino a las tolvas se hizo uso de dos elementos transportadores, “conveyors” que reemplazan al transporte de los tornillos sin fin, un elevador y cuatro elementos transportadores, “conveyors” adicionales (tuberías). En el transporte de las mezcladoras a la operación de enfundado se ha hecho uso de un tornillo sin fin o “conveyor”, un elemento separador ficticio, “separator”, un elevador y otra tubería o “conveyor”. Finalmente se transportan las entidades finales o quintales a través de tres elementos transportadores “conveyors” que reemplazan al conjunto de rampas y elementos combinadores, “combiner”, para la formación de pallets de 1,5 toneladas, que finalmente son transportados por el montacargas a la bodega.

3.1.2.3 “Task executors”

Se definieron cuatro elementos operadores “operators”, dos para la operación de mezclado, uno para la operación de enfundado, uno para la operación de cosido de las fundas y otro para la carga y formación de pallets, además se definió un elemento transportador “transporter” que reemplaza al montacargas que moviliza los pallets al área de producto terminado, la cual se considera como una bodega con un suficiente volumen para no constituir una restricción para el sistema.

3.1.2.4 “Network nodes”

La red “network” se construyó para garantizar el desplazamiento de todos los elementos ejecutores de tareas, “task executers”, existen algunos nodos de red, “network nodes” que se conectan a objetos fijos y otros que marcan la ruta a seguir, es decir, este es un camino para que los operadores se desplacen en el plano del modelo, ya que su ruta es prefijada, así se asegura que sus recorridos sean regulares.

3.1.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS NUMÉRICOS

Para el tratamiento estadístico de las variables de entrada se tomaron 30 observaciones por cada una de ellas, obtenidas mediante cronometraje directo en la planta. Las principales variables de entrada son las siguientes:

3.1.3.1 Tiempo de molido de macro ingredientes

Este tiempo de procesamiento depende del tipo de producto que se desee producir (balanceado, pre inicial, inicial o de engorde), el mismo que es constante debido a que el molino es automático, el tiempo básicamente depende del tipo de tamiz o criba colocada a la salida del molino, que a su vez obedece al tipo de producto que se está fabricando, ya que la finura de los macro ingredientes no es igual para cada tipo de producto y también entra en este conjunto la torta de soya, que tiene otro tamiz para su procesamiento.

El molino es del tipo de martillos, su velocidad es fija, proporcionada por un motor eléctrico de 40 Hp, a una velocidad de 1800 rpm; accionamiento que le da al equipo la suficiente potencia para desempeñarse como el equipo principal de la fábrica de alimento balanceado, cuya capacidad es tres veces superior a la de las mezcladoras, ensacadora y cosedora.

Su producción es regulada por las cribas que se colocan a su salida, dependiendo del tipo de macro ingrediente que se esté produciendo, ya que es diferente el grosor de la harina que requiere cada uno, este equipo es capaz de trabajar tiempos relativamente cortos y abastecer las tolvas que sirven de amortiguamiento ubicadas a la descarga del molino, antes de las mezcladoras con una capacidad total de 55 000 kg.

Es por eso que el tiempo de molido no es realmente decisivo para el estudio de las restricciones del sistema, porque el equipo por su gran capacidad nunca será el cuello de botella del sistema, por lo cual la restricción, queda reducida a los sectores de las mezcladoras, ensacadora y cosedora de sacos, los tiempos de procesamiento de el molino para los macro ingredientes necesarios para elaborar las fórmulas de alimento balanceado pre inicial, inicial, de engorde y para moler torta de soya, cuya diferencia es básicamente debida a los tamices o cribas que se colocan a la salida del molino, fueron cronometrados durante su operación en la planta de balanceado y se presentan con su promedio como resultado de treinta mediciones realizadas en la planta de elaboración de alimento balanceado de Reproavi Cía. Ltda.

Los datos que se presentan en la Tabla 3.12, siendo mayores los tiempos de procesamiento para el maíz molido para pre inicial, luego vienen los tiempos de molido del maíz para inicial y engorde, que son iguales, finalmente los de la torta de soya que son menores a todos, se realizaron 30 mediciones mediante cronometraje, sin contar con los cambios de tamices que se debe hacer para cada caso, ya que la finura de cada producto es diferente, siendo el maíz molido para pre inicial, más fino que los maíces molidos para inicial y engorde y estos más finos que el molido de torta de soya, todos estos elementos son macro ingredientes, que forman parte de las fórmulas de elaboración de alimento balanceado.

Tabla 3.12 Tiempos de procesamiento en el molino de martillos

TIEMPO DE PROCESAMIENTO (h/parada)				
PRODUCTO	PRE INICIAL	INICIAL	ENGORDE	TORTA DE SOYA
1	0,11	0,09	0,09	0,08
2	0,11	0,09	0,09	0,08
3	0,11	0,09	0,09	0,08
4	0,11	0,09	0,09	0,08
5	0,11	0,09	0,09	0,08
6	0,11	0,09	0,09	0,08
7	0,11	0,09	0,09	0,08
8	0,11	0,09	0,09	0,08
9	0,11	0,09	0,09	0,08
10	0,11	0,09	0,09	0,08
11	0,11	0,09	0,09	0,08
12	0,11	0,09	0,09	0,08
13	0,11	0,09	0,09	0,08
14	0,11	0,09	0,09	0,08
15	0,11	0,09	0,09	0,08
16	0,11	0,09	0,09	0,08
17	0,11	0,09	0,09	0,08
18	0,11	0,09	0,09	0,08
19	0,11	0,09	0,09	0,08
20	0,11	0,09	0,09	0,08
21	0,11	0,09	0,09	0,08
22	0,11	0,09	0,09	0,08
23	0,11	0,09	0,09	0,08
24	0,11	0,09	0,09	0,08
25	0,11	0,09	0,09	0,08
26	0,11	0,09	0,09	0,08
27	0,11	0,09	0,09	0,08
28	0,11	0,09	0,09	0,08
29	0,11	0,09	0,09	0,08
30	0,11	0,09	0,09	0,08
PROMEDIO	0,11	0,09	0,09	0,08

1 parada = 44 qq

3.1.3.2 Tiempo de pesado y descarga de M.I.

Tiempo de pesado de macro ingredientes: tiempo que demoran los operarios en cargar un coche a partir de la descarga de las diferentes tolvas, desde la N. 2 a la tolva N. 5.

Tiempo de descarga de macro ingredientes: tiempo que demoran los operarios en descargar un coche en la mezcladora, se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Tiempos de procesamiento de carga y descarga de macro ingredientes en la mezcladora

TIEMPO DE CARGA MACRO INGREDIENTES EN LA MEZCLADORA (s)	TIEMPO DE DESCARGA MACRO INGREDIENTES EN LA MEZCLADORA (s)	SUMA (s)
4	3	7
4	4	8
3	4	7
5	3	8
4	4	8
4	3	7
4	4	8
5	3	8
3	4	7
4	3	7
4	4	8
3	4	7
5	4	9
4	4	8
4	4	8
4	4	8
5	3	8
3	4	7
4	4	8
4	3	7
3	4	7
5	4	9

Tabla 3.13 Tiempos de procesamiento de carga y descarga de macro ingredientes en la mezcladora (Continuación...)

TIEMPO DE CARGA MACRO INGREDIENTES EN LA MEZCLADORA (s)	TIEMPO DE DESCARGA MACRO INGREDIENTES EN LA MEZCLADORA (s)	SUMA (s)
4	4	8
4	3	7
5	3	8
3	4	7
4	4	8
4	3	7
5	3	8
3	4	7
4	4	8
5	3	8
PROMEDIO		8

3.1.3.3 Tiempo de pesado, descarga y enfundado

Los tiempos a considerarse son:

Tiempo de descarga: tiempo que tarda la válvula de la ensacadora en descargar el material al saco.

Tiempo de pesado: tiempo que tarda la balanza en pesar un quintal.

Tiempo de enfundado: tiempo que tarda el operario en sacar un quintal de la ensacadora y balanza.

Tiempo de cosido: tiempo que tarda el operario en coser un quintal luego de que fue ensacado.

Estos tiempos promedio, cronometrados en los equipos y tomando en cuenta las bandas transportadoras intermedias que existen entre la ensacadora y la cosedora, se presentan en la Tabla 3.14.

Sin embargo, de que estos tiempos son cortos, son muy importantes para la parametrización del modelo de simulación, de tal manera que su comportamiento sea lo más parecido posible a la realidad.

Tabla 3.14 Promedio de los tiempos de pesado, descarga, ensacado y cosido

Muestra	Tiempo de pesado (segundos)	Tiempo de descarga (segundos)	Tiempo de enfundado (segundos)	Tiempo de cosido (segundos)
1	6	7	15	3
2	4	5	14	2
3	5	6	14	3
4	4	5	13	2
5	4	6	13	2
6	5	6	14	3
7	6	3	15	4
8	5	4	12	1
9	3	4	12	1
10	4	5	13	2
11	5	6	14	3
12	3	6	14	3
13	6	7	15	4
14	6	7	15	4
15	5	6	14	3
16	4	5	13	2
17	5	6	14	3
18	4	5	13	2
19	5	6	14	3
20	4	4	14	3
21	5	6	14	3
22	5	6	14	3
23	6	7	15	4
24	5	6	14	3
25	4	5	13	2
26	5	6	14	3
27	6	7	15	4
28	4	5	13	2
29	5	6	14	3
30	3	7	12	1

Para la toma de los datos se empleó la observación directa con el método de cronometraje. Se realizaron las pruebas del módulo “Automated-Fitting” y del

módulo “Goodness of Fit” del módulo “expertfit” de Flexsim, los cuales son programas de procesamiento de datos, pertenecientes al software de simulación Flexsim, para determinar la distribución de mejor ajuste de las variables y comprobar que esta función es la adecuada para representar la realidad del desempeño del proceso de planta de alimentos balanceados, respectivamente, cuya ventana se presenta en la Figura 3.3.

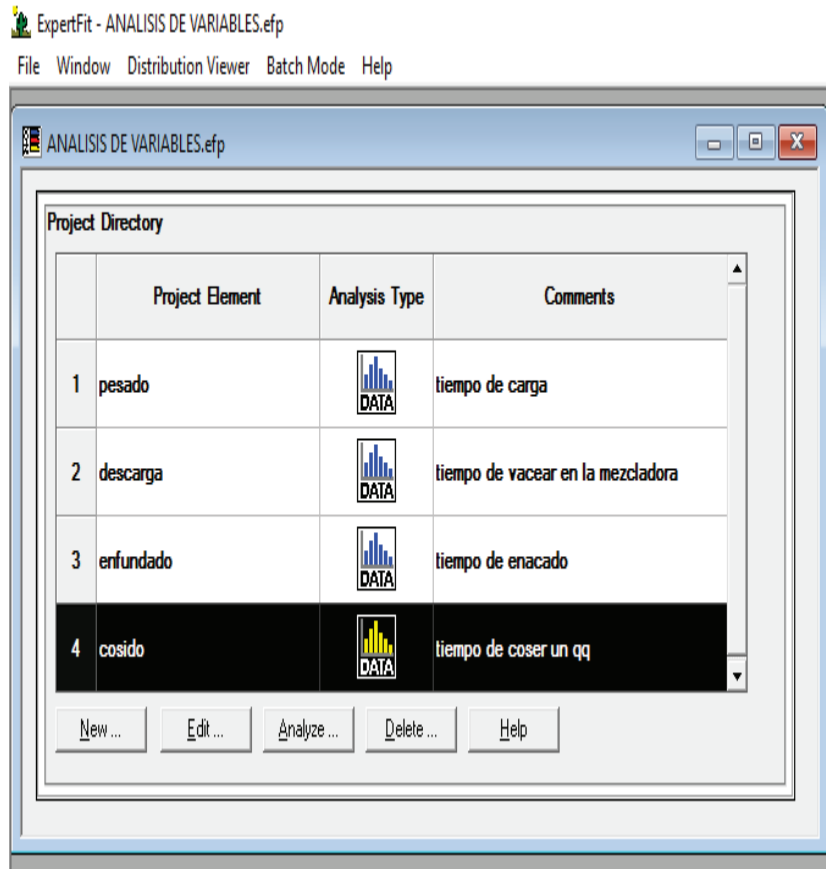


Figura 3.3 Ventana de análisis de variables del módulo expertfit, Flexsim

Una vez introducidos los datos muestrales de cada variable se procedió a analizar en primera instancia con la opción del módulo “automated fitting”, para buscar las distribuciones de ajuste y luego mediante el módulo “goodness of fit” se eligió la mejor alternativa, estas son facilidades que brinda el software Flexsim para procesar datos estadísticos del modelo para así mejorar la exactitud y fidelidad de la simulación de manera estadística, introduciendo en el modelo la disciplina matemática para hacerlo más parecido a la realidad y parametrizarlo de acuerdo

con las variables que gobiernan en el proceso, a la vez este proceso es de carácter estocástico, ya que es gobernado por la probabilidad, cuya evaluación se muestra en la Figura 3.4.

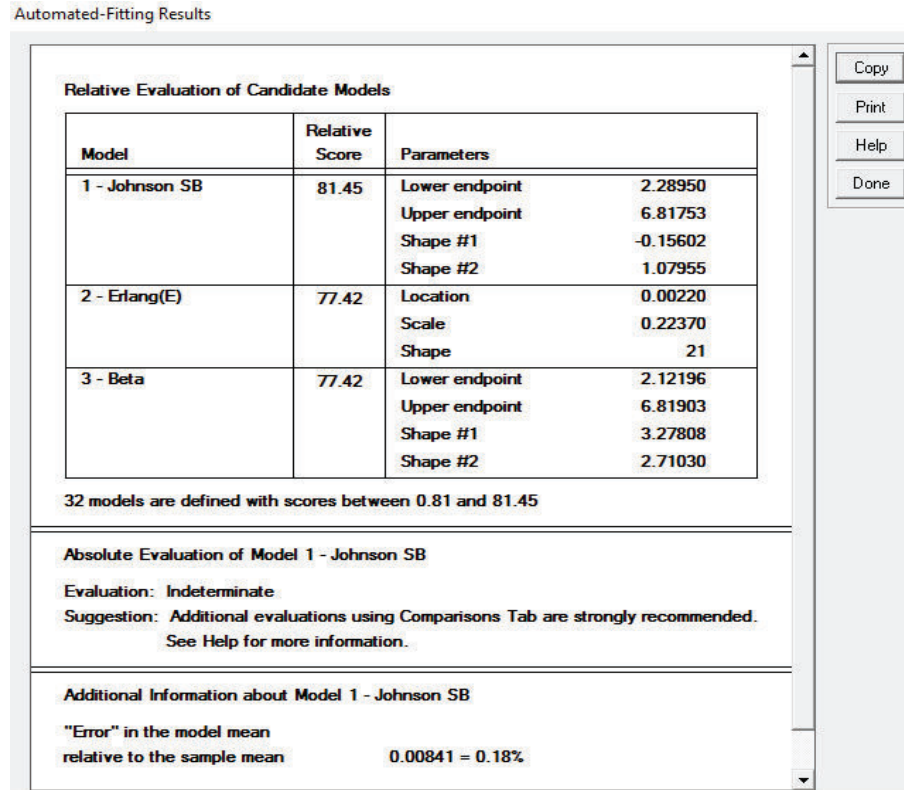


Fig. 3.4 Análisis de tres distribuciones aplicadas al modelo

A partir de este procesamiento de datos, se determinaron las distribuciones más representativas para las variables analizadas, estas distribuciones permitirán ajustar los resultados a dichas funciones, admitirán proyectar el comportamiento del proceso en la simulación, haciéndola más útil para su utilización en las decisiones de la teoría de restricciones, la ventaja de tener funciones matemáticas planteadas es que se pueden proyectar valores, para situaciones se puedan dar durante el funcionamiento del modelo, dando un respaldo matemático a la simulación, que sustenta la credibilidad de los datos obtenidos del software, de acuerdo con la puntuación obtenida en el análisis la distribución más apropiada para la parametrización es la Johnson SB, con 81,45 puntos, por lo cual será la función adoptada en primera instancia, en segunda instancia se seleccionará la función beta; los valores de estas funciones se muestran en la Tabla 3.15:

Tabla 3.15 Resultados del Análisis de las distribuciones de mayor representatividad

VARIABLE	DISTRIBUCIÓN DE MAYOR AJUSTE
Tiempo de pesado (segundos)	johnsonbounded(2.29, 6.82, -0.16, 1.08)
Tiempo de descarga (segundos)	beta(2.56, 7.42, 2.73, 1.64)
Tiempo de enfundado (segundos)	beta(10.84, 15.73, 3.97, 2.68)
Tiempo de cosido (segundos)	beta(0.09, 4.65, 3.43, 2.58)

Los resultados nos indican que para el tiempo de pesado la distribución “Johnson bounded” es la más representativa, la cual es una variante de la distribución normal, que permite utilizar pocos datos muestrales.

El gráfico de la función, con base en los datos de la Tabla 3.15 para tiempos de pesado en segundos son los representados en la siguiente Figura 3.5:

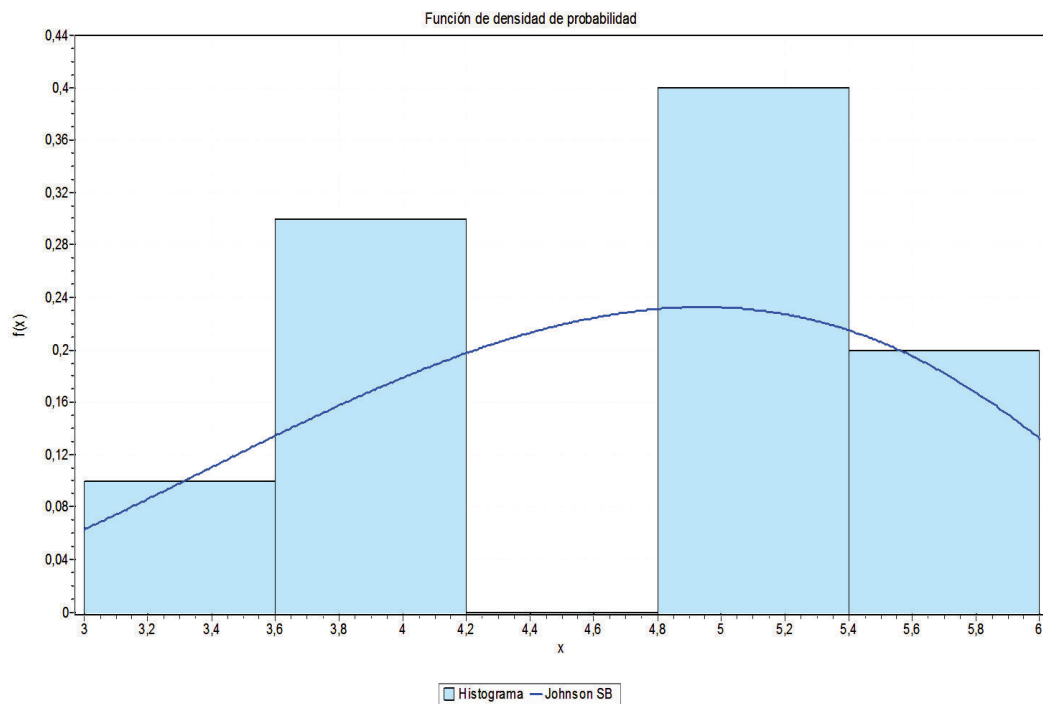


Figura 3.5 Gráfico de los valores de tiempos de pesado de la tabla 3.15, ajustados a la distribución de probabilidad Johnson bounded en el programa EasyFit 5.6

Los tiempos de descarga, enfundado y cosido, en cambio están mejor representados por la distribución beta, la cual representa la variabilidad sobre un rango fijo y es muy flexible ante los cambios propios del sistema, influenciada por la estadística bayesiana, es decir, subjetiva, basada en la probabilidad de que ocurra un evento a partir de la ocurrencia de otro evento, esto permite hacer predicciones con un número de datos relativamente pequeño, basándose en la relación de un evento con otro.

El gráfico del tiempo de descarga ajustado a la distribución beta del tiempo de descarga se presenta en la siguiente Figura 3.6:

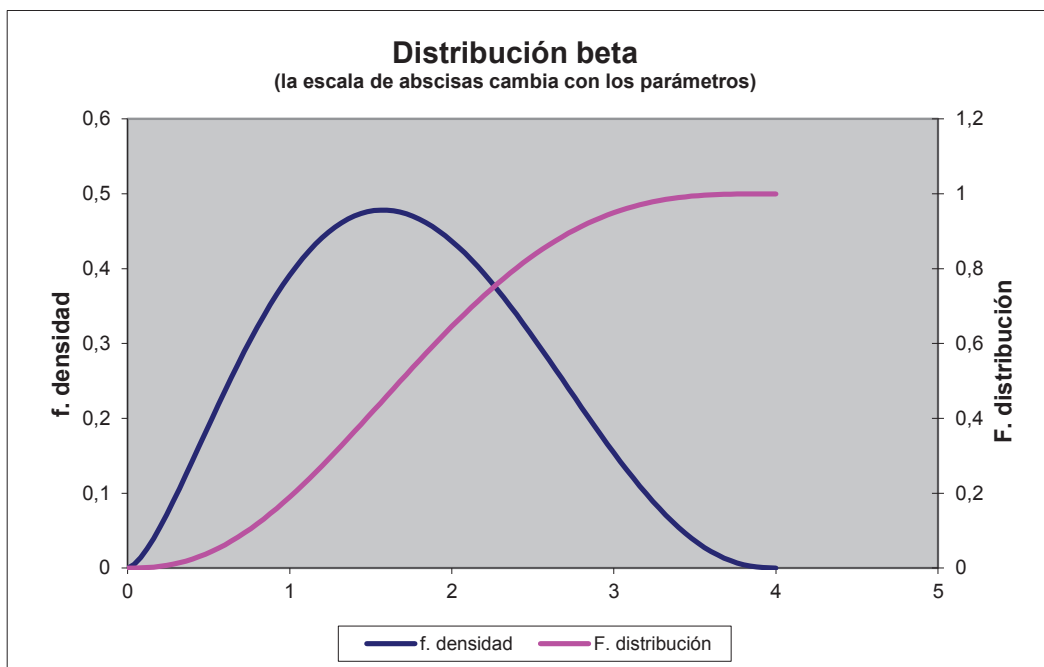


Figura 3.6 Gráfico del tiempo de descarga ajustado a la distribución beta

Para el tiempo de enfundado el gráfico de la distribución está representado en la Figura 3.7, cabe anotar que es similar al de la figura 3.6, sus parámetros son casi los mismos, ya que se ajusta a la función de tipo beta, influenciada por la estadística bayesiana, la línea color rosa es la función de la distribución y la línea azul es la función densidad de probabilidad de la función beta, la cual es una distribución continua, con valores entre 0 y 4, que dan en la distribución con valores entre 0 y 1; en cambio en la densidad los valores son entre 0 y 0,5. En

conjunto estas dos curvas representan el tiempo de descarga del alimento balanceado.

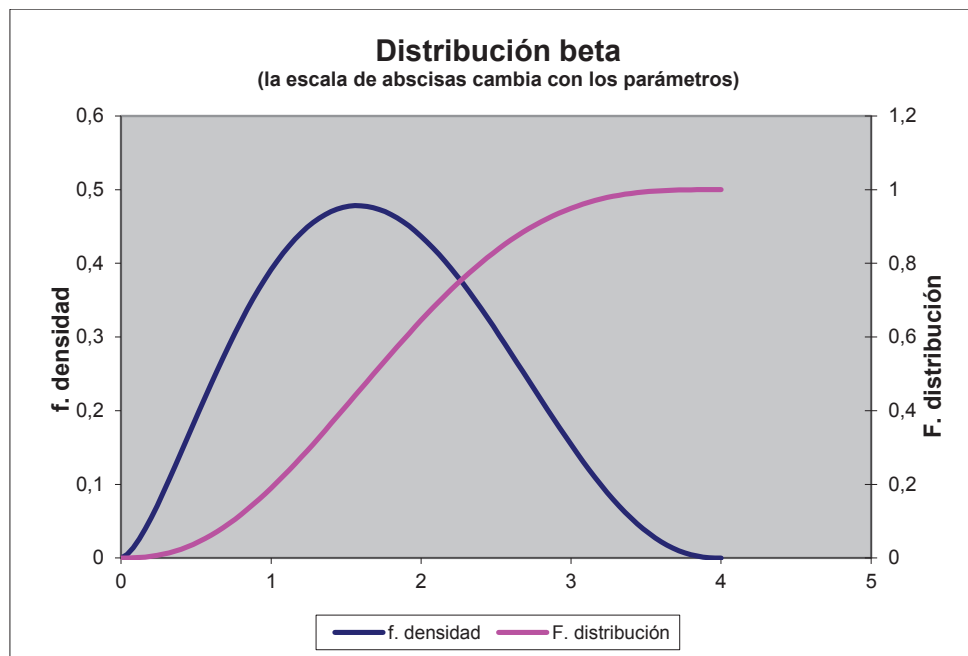


Figura 3.7 Gráfico de la distribución beta para tiempo de enfundado

El gráfico del tiempo de cosido ajustado a la distribución beta se presenta en la Figura 3.8:

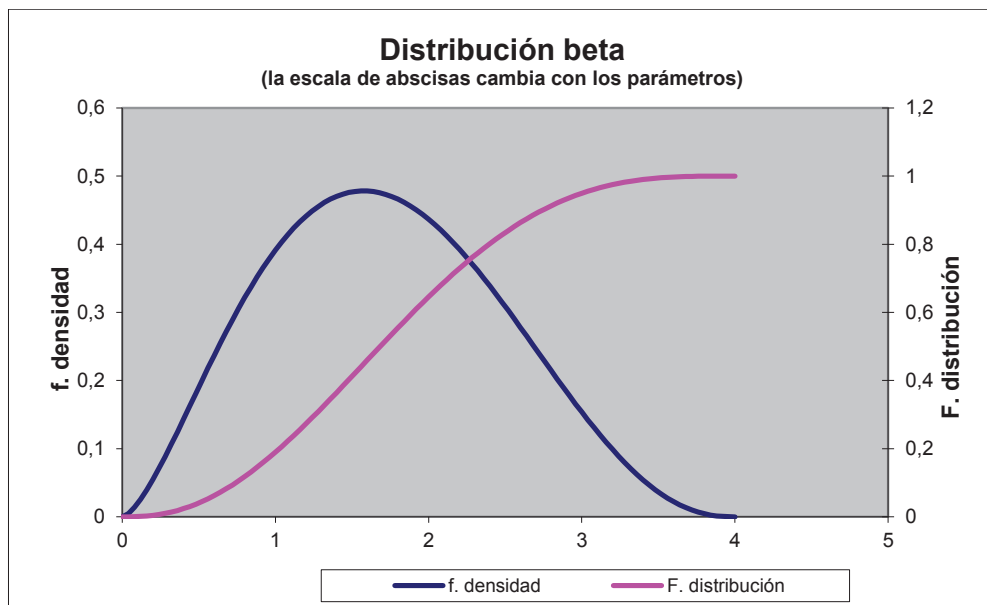


Figura 3.8 Gráfico de tiempo de cosido ajustado a la función beta

3.1.3.4 Construcción del modelo

Para la construcción del modelo se realizó un estudio minucioso de la forma en que opera el sistema actual. Para lo cual se consideraron las siguientes fuentes fijas “Fixed Resources” de Flexsim:

Son, 6 unidades de fuentes “sources”; 2 unidades de procesadores “processors” (una para el molino y una para la cosedora); 12 unidades de colas, “queues” (dos para los silos, siete para las tolvas, una unidad para micro ingredientes, una unidad para producto final y una unidad como elemento ficticio); 8 unidades de combinadores, “combiners” (cuatro ficticios para la formación de lotes, dos para las mezcladoras, uno para el ensacado y uno para la formación de pallets); 2 unidades de separadores, “separators” (uno ficticio en el primer elevador y el otro igualmente ficticio para las mezcladoras); 1 elemento salida “sink”, que sirve para simular un desplazamiento hacia fuera del modelo. Todos estos elementos configuran el modelo de simulación.

Dentro de las unidades ejecutoras de tareas, “Task Executors” se hizo uso de 4 unidades operadoras, “operators”: dos unidades para la operación de mezclado y dos unidades para la operación de enfundado, una unidad de transportación, “transporter” y tres unidades de elevadores, “elevators”.

También se utilizaron 12 unidades de transporte, “conveyors” en colaboración al funcionamiento de transporte de los elevadores, “elevators”. El modelo diseñado se muestra en la Figura 3.9:

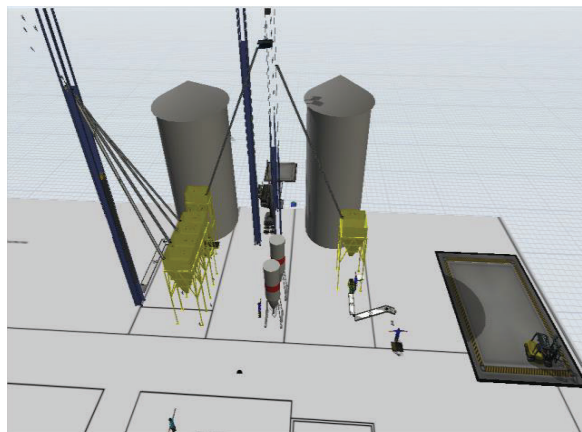


Figura 3.9 Modelo en el área de trabajo

Además, para lograr su adecuado funcionamiento se hizo énfasis en los siguientes aspectos: en la unidad fuente, “source” maíz, se generan tres tipos de entidades, con diferente color que permitan su identificación y se almacenen en el Silo 1 (750 toneladas). Esto se logró a través de la programación de un disparador, “triggers” en la función “OnCreation” del elemento fuente “source” con la activación de la función “Set Item Type by Porcentage”, como se puede observar en la Figura 3.10.

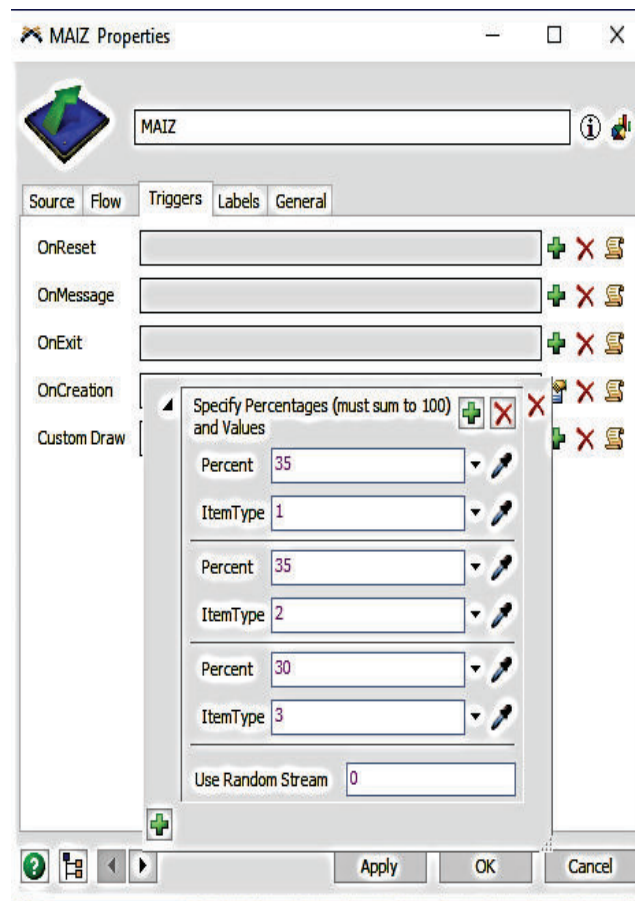


Fig. 3.10 Programación de disparadores “triggers” para la creación de diferentes “ítems types”

El flujo de salida de las cuatro unidades de combinadores “combiners” iniciales por turno, se logró mediante la creación de unidades de disparadores “triggers” en la función “On Exit” y en la función “On Message” para la apertura y el cierre de los puertos de entrada y de salida, que permiten la operación de los interruptores

del modelo en su operación, estos dispositivos virtuales facilitan el funcionamiento del modelo, especialmente por su condición de utilizar elementos discretos en su accionar, por lo cual es parte de la programación del desempeño de la simulación, haciendo intermitente la entrada de los elementos que ingresan al sistema y regulando su flujo de tránsito dentro del modelo, homogeneizando la entrada y salida de entidades y haciendo uniforme el accionar de todo modelo. Un ejemplo de ello lo muestra la Figura 3.11:

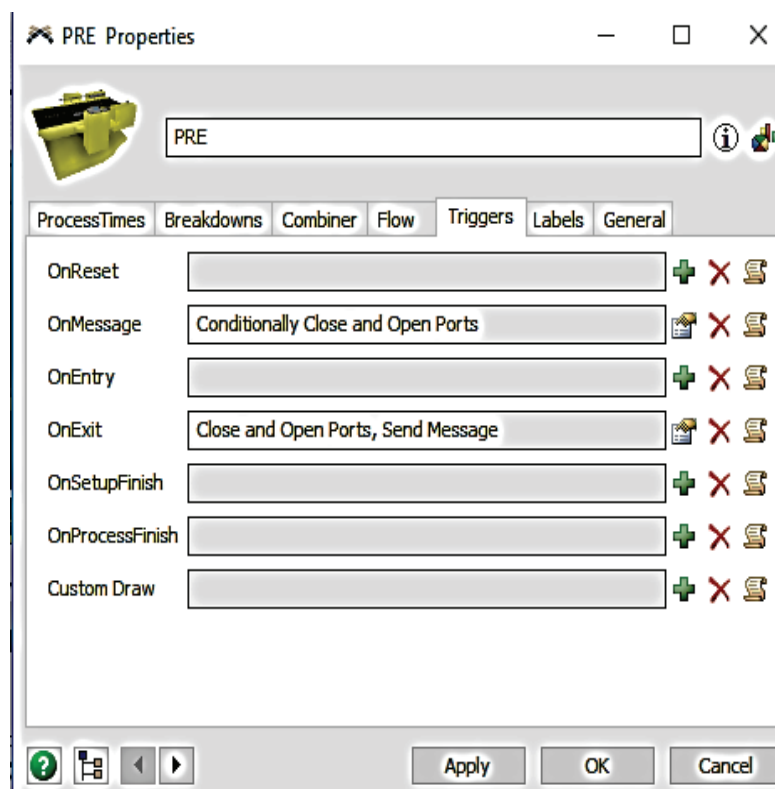


Figura 3.11 Creación de unidades disparadoras, “triggers” para la apertura y cierre de puertos

El tiempo de molido se da dependiendo del producto que se vaya a realizar, es decir, del tipo de ítem que se va a procesar, cómo existen tres tipos de alimentos balanceados que se producen en la planta, para ello se programó la función “Values by Case” del módulo “Process time” en el modelo del molino, como se observa en la Figura 3.12.

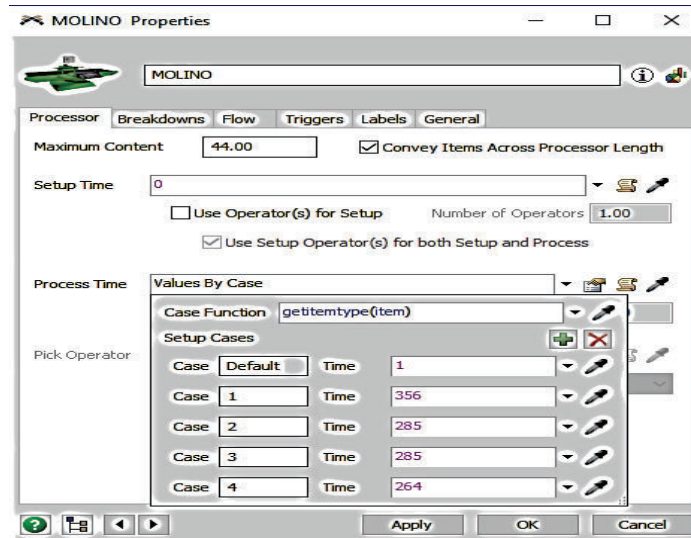


Figura 3.12 Programación de tiempos de procesamiento diferente

El ruteo al almacenamiento en las tolvas se da dependiendo del tipo de producto; obtenido mediante la programación en la unidad de flujo, “flow” del elemento cola, “queue”, activando la opción “Port by Case”, según se observa en la Figura 3.13.

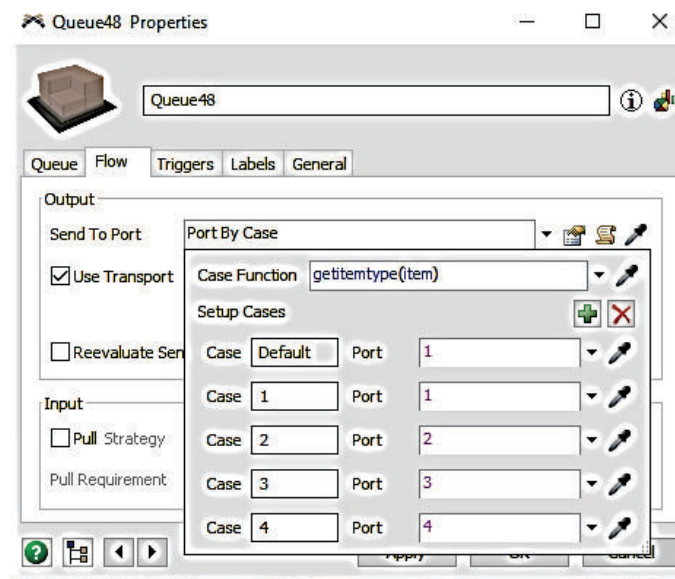
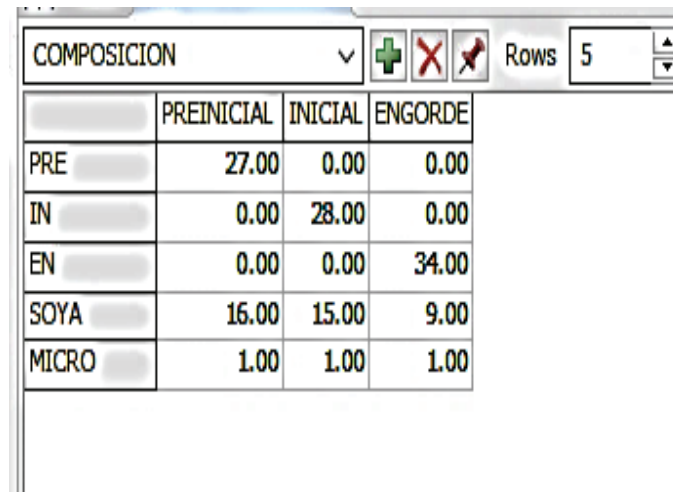


Figura 3.13 Ruteo de ítems a diferente puerto

El ruteo de los ítems, es sumamente importante en el funcionamiento del modelo, ya que permite la regulación de los flujos de tránsito interno de los elementos que

circulan en el interior del sistema, mejora el desempeño de las funciones que posee el proceso, garantiza la efectividad y el rendimiento de los equipos en un contexto cambiante como es el de la planta industrial, al optimizar los recorridos de los elementos que se procesan.

La combinación para la elaboración de los diferentes tipos de balanceado se de acuerdo a la composición requerida. Para ello fue necesario crear en primera instancia una tabla global, “global table” “COMPOSICIÓN” con la constitución de los diferentes tipos de balanceado y posteriormente la creación de un elemento disparador, “trigger” en la función “On Entry” en los elementos combinadores, “combiners” “Mezcladora” haciendo referencia a la tabla global, “global table” anteriormente creada, según se observa en la Figura 3.14.



	PREINICIAL	INICIAL	ENGORDE
PRE	27.00	0.00	0.00
IN	0.00	28.00	0.00
EN	0.00	0.00	34.00
SOYA	16.00	15.00	9.00
MICRO	1.00	1.00	1.00

Figura 3.14 Creación de la “global table” “Composición”

Además, se programaron las velocidades de los operarios en 0.83 m/s y del elemento transportador, “transporter” en 2 m/s para obtener tiempos de transporte acordes a la realidad de la planta. En la Figura 3.15 se presentan los elementos disparadores de la tabla global “composición”, creados con la función abrir entrada, “On entry”, los cuales sirven para abrir las configuraciones de cada tipo de alimento balanceado y así garantizar que se fabricarán las tres recetas que produce la planta, todo esto es parte de la parametrización del modelo de simulación elaborado en Flexsim.

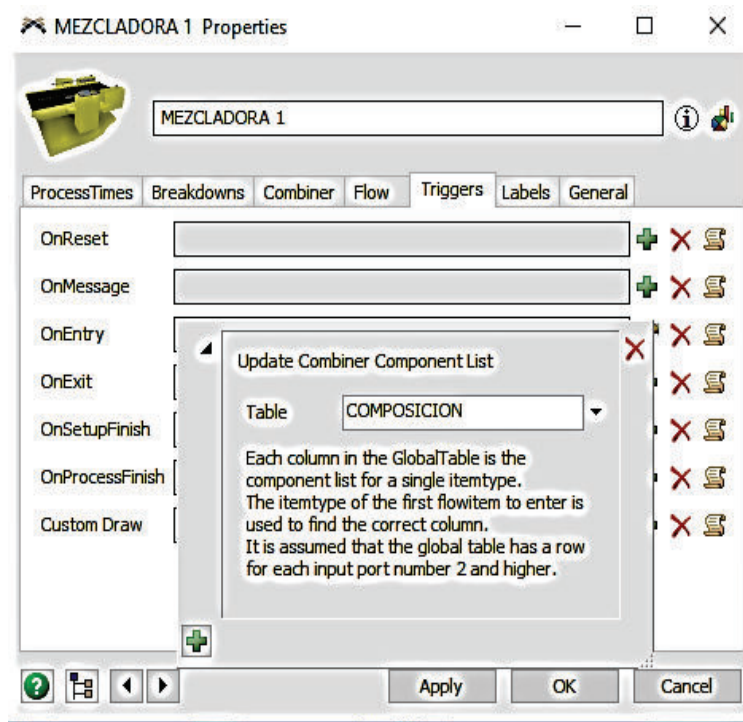


Fig. 3.15 Creación de un elemento disparador “trigger” en la función “On Entry” haciendo uso de la tabla global “global table”.

3.1.3.5 Validación del modelo

El proceso de validación se garantizó a partir de la propia programación del modelo, verificando el trabajo adecuado de las funcionalidades declaradas en su construcción. En tal sentido, se emplearon algunas declaraciones propias de FlexSim, que unidas al empleo de informaciones de entrada real, permitieron observar el comportamiento de las variables respuesta y que este fuera congruente con el desempeño real del sistema.

Además, como herramienta de ayuda para la validación, se crearon cuadros de mando, “dashboards” para todas las variables de respuesta. Estos primeros análisis permitieron definir aspectos relacionados con el proceso de optimización y a desarrollar en el próximo paso del procedimiento. Por otra parte, también se hizo uso de los cuadros de mando, dashboards para evidenciar que existe bloqueo en algunos elementos del sistema.

A continuación, se configuran pruebas de hipótesis de validación de medias muestrales, con ayuda del programa de estadística Statgraphics Centurion XV.II

para demostrar que los datos obtenidos del modelo son válidos. La hipótesis es que la media de la producción de las mezcladoras es igual a 613 qq./día, tal como arroja el resultado del modelo en una corrida de un turno, como se muestra en la Tabla 3.16:

Tabla 3.16 Producción de las mezcladoras y ensacadora para una corrida de un turno en Flexsim

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	ERROR	L=LS-LI	CONDICIÓN $L \leq 2 * E$	CANTIDAD DE RÉPLICAS
Producción mezcladoras	quintales/día	613	3	612	615	31	4	$4 \leq 24$	0
Producción ensacadora	quintales/día	465	68	294	392	23	98	$98 > 14$	44

En la Tabla 3.17 se indican las condiciones a demostrarse en la prueba de hipótesis a realizarse en el programa de estadística Statgraphics Centurion XV.II, la cual servirá para fundamentar, el análisis estadístico de los valores de la producción:

Tabla 3.17 Condiciones a probarse en la prueba de hipótesis

Condición que se probará	Hipótesis alternativa
La media de la población es menor al objetivo	Unilateral $\mu < 613$
La media de la población es mayor al objetivo	Unilateral $\mu > 613$
La media de la población es diferente al objetivo	Unilateral $\mu \neq 613$

Los datos reales recogidos en la producción de las mezcladoras, tomados de los reportes de producción de Reproavi Cía. Ltda., que son emitidos diariamente por parte del personal operativo de su planta de molienda de alimentos balanceados, el periodo en que se emitieron los reportes que sirvieron de base para la realización de esta Tabla fueron los meses de octubre y noviembre de 2016, dichos valores muestran en la Tabla 3.18, como parte de la prueba de hipótesis que se llevó a cabo en el trabajo:

Tabla 3.18 Datos reales de producción en qq/día, recogidos en la producción de las mezcladoras en un turno de 8h

N°	PRODUCCIÓN MEZCLADORAS	N°	PRODUCCIÓN MEZCLADORAS	N°	PRODUCCIÓN MEZCLADORAS	N°	PRODUCCIÓN MEZCLADORAS
1	612	26	613	51	614	76	615
2	613	27	611	52	615	77	613
3	611	28	614	53	612	78	612
4	614	29	615	54	611	79	612
5	615	30	613	55	612	80	614
6	613	31	611	56	613	81	615
7	611	32	612	57	611	82	612
8	612	33	614	58	614	83	611
9	613	34	615	59	615	84	612
10	611	35	613	60	612	85	613
11	614	36	612	61	613	86	611
12	615	37	613	62	611	87	614
13	613	38	611	63	614	88	615
14	611	39	614	64	615	89	613
15	612	40	615	65	613	90	613
16	614	41	613	66	611	91	612
17	615	42	611	67	612	92	614
18	612	43	612	68	614	93	612
19	611	44	613	69	615	94	614
20	612	45	611	70	613	95	615
21	613	46	614	71	611	96	613
22	611	47	615	72	612	97	614
23	614	48	613	73	613	98	615
24	615	49	611	74	612	99	613
25	612	50	612	75	614	100	612

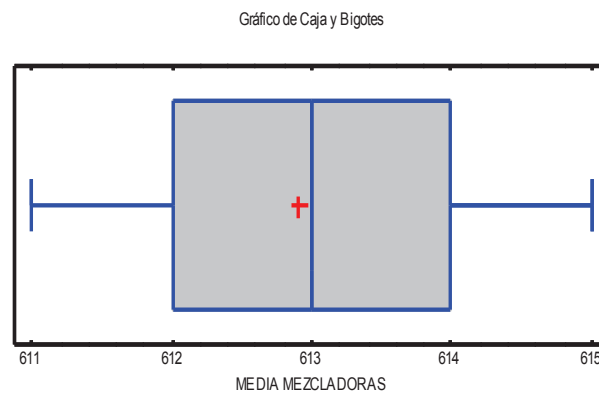
(Reproavi, 2016, p. 15)

En la Tabla 3.19, se presenta el resumen estadístico obtenido del programa “Statgraphics”, utilizando los datos de la Tabla 3.18, los cuales fueron obtenidos de los reportes de producción de la planta de elaboración de alimentos balanceados de Reproavi Cía. Ltda., acerca de la producción de las mezcladoras en un turno de 8 horas diarias, durante los meses de abril y mayo de 2016, se han tomado 100 lecturas de dicha producción, para que la muestra sea representativa para la prueba de hipótesis.

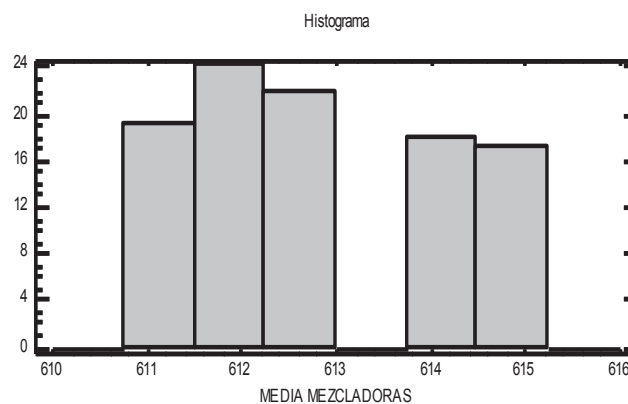
Tabla 3.19 Resumen Estadístico para media mezcladoras

Recuento	100
Promedio	612,9
Desviación Estándar	1,367
Coefficiente de Variación	0,223038%
Mínimo	611,0
Máximo	615,0
Rango	4,0
Sesgo Estandarizado	0,553474
Curtosis Estandarizada	-2,42212

La Figura 3.16 contiene el gráfico de caja y bigotes obtenido también de "Statgraphics".

**Figura 3.16** Gráfico de caja y bigotes para media mezcladoras

La Figura 3.17 de representa el histograma de los datos de media mezcladora.

**Fig. 3.17** Histograma de los datos de media mezcladora

Para la realización de la Tabla 3.20 se dividió en 8 clases o intervalos la lista de valores de producción de las mezcladoras, se fijó su límite inferior y superior, así como su punto medio, se anotan además las frecuencias, normal, relativa y acumulada, dando una media de 612,9 y una desviación estándar de 1,367, valores que confirman los números de la hipótesis, respaldando la prueba de hipótesis que se desarrolló, dentro del proyecto de investigación, de la mejora de producción de la elaboración del alimento balanceado para aves en la empresa Reproavi Cía. Ltda. Esta es una herramienta estadística utilizada para confirmar el valor de la media de un grupo de datos recogidos de los reportes de producción emitidos diariamente en la empresa.

Tabla 3.20 Tabla de Frecuencias para MEDIA MEZCLADORAS

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	610,0		0	0,0000	0	0,0000
1	610,0	610,75	610,375	0	0,0000	0	0,0000
2	610,75	611,5	611,125	19	0,1900	19	0,1900
3	611,5	612,25	611,875	24	0,2400	43	0,4300
4	612,25	613,0	612,625	22	0,2200	65	0,6500
5	613,0	613,75	613,375	0	0,0000	65	0,6500
6	613,75	614,5	614,125	18	0,1800	83	0,8300
7	614,5	615,25	614,875	17	0,1700	100	1,0000
8	615,25	616,0	615,625	0	0,0000	100	1,0000
	mayor de	616,0		0	0,0000	100	1,0000

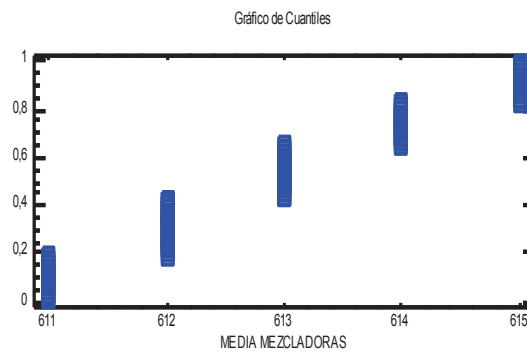
Media = 612,9 Desviación Estándar = 1,367

La Tabla 3.21, contiene el diagrama de tallo y hoja obtenido de "Statgraphics", la cual representa en una tabla, los 5 intervalos principales en que se divide todo el conjunto de valores tomados, donde de los 100 números, existen 43 intervalos con un valor medio de 612, 22 intervalos con un valor medio de 613, el cual es el rango central de la muestra, 35 valores con la media de 614, 19 valores con la media de 611 y 17 valores con la media de 615, esto lleva a concluir que la media central de 613 es la media de toda la población.

Tabla 3.21 Diagrama de Tallo y Hoja para MEDIA: unidad = 0,1 1|2 representa 1,2

Número de valores	Valor medio	Número de valores representados con ceros
19	611	00000000000000000000
43	612	000000000000000000000000
(22)	613	000000000000000000000000
35	614	000000000000000000000000
17	615	000000000000000000000000

La Figura 3.18, contiene el gráfico de cuantiles de los datos de media mezcladora.

**Figura 3.18** Gráfico de cuantiles de los datos de media mezcladora

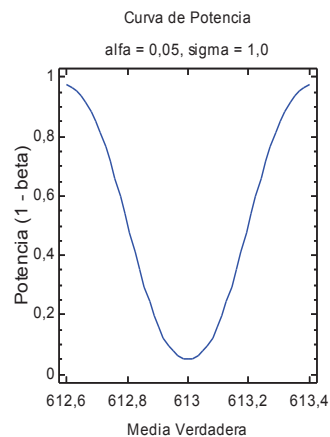
La Tabla 3.22, muestra los datos finales de la prueba de hipótesis. En la que se demuestra la validez de la hipótesis planteada, con un 95% de confianza y una desviación estándar de 1,0, para un tamaño de la muestra de 100 observaciones, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula para alfa 0,05 y un estadístico t calculado de 0,0.

El valor de 613, se demuestra que es la media de la muestra de cien valores de la producción de las mezcladoras, tomada de los reportes de producción, lo cual confirma la hipótesis planteada y por lo tanto se llega a encontrar que las mezcladoras trabajan en ese rango de producción, demuestra que la media de los datos de la producción de las mezcladoras es de 613,0 qq/día y que su distribución se aproxima a la de una curva normal, con un valor alfa de 0,05 y un valor sigma de 1,0, valiéndose del programa de estadística statgraphics, se pudieron procesar el conjunto de cien datos tomados de los reportes de producción.

Tabla 3.22 Prueba de Hipótesis mezcladoras

Parámetro	Valor	Unidad
Media	613,0	qq/día
Desviación estándar	1,0	
Tamaño de la muestra	100	un
Intervalos del 95% de confianza para la media 613,0	+/-0,198422	(612,802;613,198)
Hipótesis nula media	613,0	
Alternativa	no igual	
Estadístico t calculado	0,0	
Valor-P	1,0	
No se puede rechazar la hipótesis nula para alfa	0,05	
Hipótesis nula μ	613,0	
Hipótesis alterna $\mu < >$	613,0	

La Figura 3.19 muestra la curva de potencia para media mezcladoras.

**Figura 3.19** Curva de potencia para media mezcladoras

La hipótesis es que la media de la producción de la ensacadora es igual a 465 qq/día, tal como arroja el resultado del modelo en una corrida de un turno, mostrada en la Tabla 3.23 y 3.24, para demostrar esta aseveración, se realizó una prueba de hipótesis por medio del programa Statgraphics, cuyos parámetros se muestran en la tabla 3.23, de la misma manera que se realizó para las mezcladoras anteriormente:

Tabla 3.23 Condiciones a probarse en la prueba de hipótesis

Condición que se probará	Hipótesis alternativa
La media de la población es menor al objetivo	Unilateral $\mu < 465$
La media de la población es mayor al objetivo	Unilateral $\mu > 465$
La media de la población es diferente al objetivo	Unilateral $\mu \neq 465$

La Tabla 3.24 contiene los 100 datos reales tomados mediante observación.

Tabla 3.24 Datos reales en qq/día recogidos en la producción de la ensacadora en un turno de 8h

Nº	PRODUCCIÓN ENSACADORA	Nº	PRODUCCIÓN ENSACADORA	Nº	PRODUCCIÓN ENSACADORA	Nº	PRODUCCIÓN ENSACADORA
1	465	26	464	51	463	76	464
2	464	27	467	52	364	77	467
3	466	28	466	53	466	78	466
4	467	29	465	54	467	79	465
5	463	30	463	55	463	80	463
6	464	31	464	56	464	81	464
7	465	32	612	57	465	82	464
8	465	33	466	58	465	83	466
9	466	34	465	59	466	84	465
10	464	35	463	60	464	85	463
11	467	36	464	61	467	86	464
12	466	37	464	62	466	87	464
13	465	38	465	63	465	88	465
14	463	39	464	64	463	89	464
15	464	40	466	65	464	90	466
16	464	41	467	66	464	91	467
17	466	42	463	67	465	92	463
18	467	43	464	68	464	93	464
19	466	44	465	69	466	94	465
20	467	45	465	70	467	95	465
21	463	46	466	71	463	96	466
22	464	47	464	72	464	97	464
23	465	48	467	73	465	98	467
24	465	49	466	74	465	99	466
25	466	50	465	75	466	100	465

(Reproavi Cia. Ltda, (2016), p. 16)

La Tabla 3.25, contiene el resumen estadístico del programa “Statgraphics”, dentro de la prueba de hipótesis para demostrar la media del valor de la producción de la ensacadora, con lo cual se dispone de información importante para la prueba estadística de la media del funcionamiento de la ensacadora, que se desarrolló dentro del trabajo del modelo de simulación.

Tabla 3.25 Resumen Estadístico para media ensacadora

Recuento	100
Promedio	464,88
Desviación Estándar	1,22499
Coefficiente de Variación	0,263507%
Mínimo	463,0
Máximo	467,0
Rango	4,0
Sesgo Estandarizado	0,816162
Curtosis Estandarizada	-1,89448

La Figura 3.20, contiene el gráfico de caja y bigotes para media ensacadora.

Gráfico de Caja y Bigotes

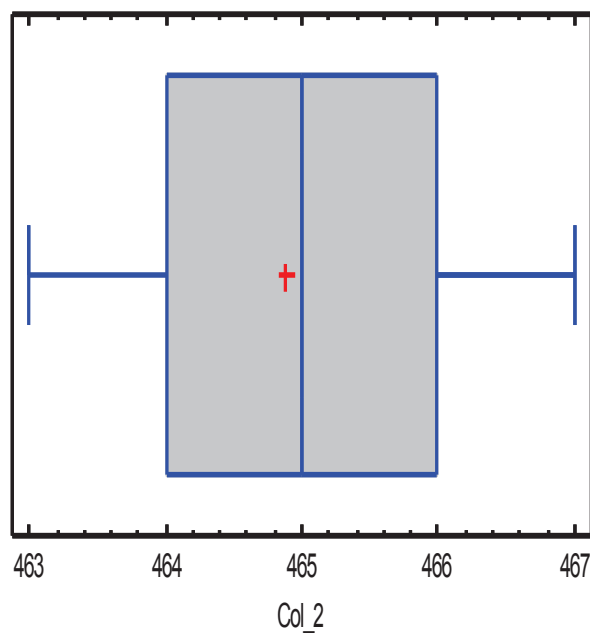


Figura 3.20 Gráfico de caja y bigotes para media ensacadora

La Tabla 3.26 contiene las frecuencias obtenidas de “Statgraphics”, para media ensacadora, con sus intervalos, dividida en ocho periodos, con sus límites inferior, superior, punto medio, frecuencia relativa y acumulada.

Tabla 3.26 Tabla de Frecuencias para media ensacadora en qq/día

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acumulad.
	menor o igual	462,0		0	0,0000	0	0,0000
1	462,0	462,75	462,375	0	0,0000	0	0,0000
2	462,75	463,5	463,125	13	0,1300	13	0,1300
3	463,5	464,25	463,875	30	0,3000	43	0,4300
4	464,25	465,0	464,625	25	0,2500	68	0,6800
5	465,0	465,75	465,375	0	0,0000	68	0,6800
6	465,75	466,5	466,125	20	0,2000	88	0,8800
7	466,5	467,25	466,875	12	0,1200	100	1,0000
8	467,25	468,0	467,625	0	0,0000	100	1,0000
	mayor de	468,0		0	0,0000	100	1,0000

Media = 464,88 Desviación Estándar = 1,22499

La Figura 3.21, muestra el histograma de frecuencias para media ensacadora.

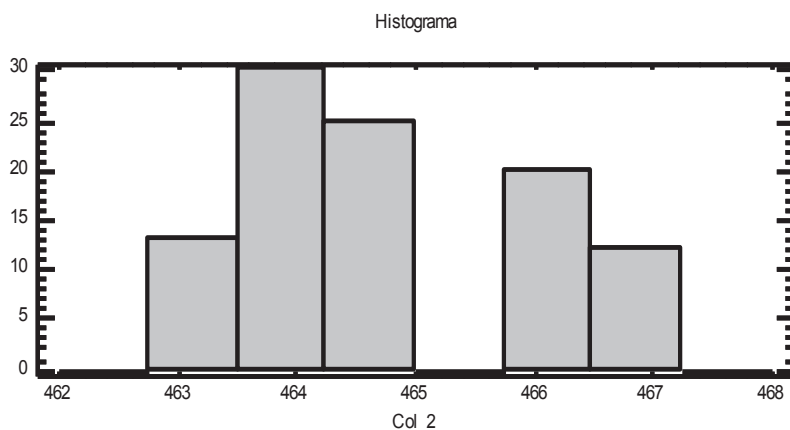


Figura 3.21 Histograma de frecuencias para media ensacadora

hipótesis nula, el valor de la hipótesis nula μ y de la hipótesis alterna, mayor o menor que la media, con la información de esta tabla se comprueba de manera fehaciente el valor de la media de la producción de la ensacadora propuesto en la prueba.

Tabla 3.28 Prueba de Hipótesis ensacadora

Parámetro	Valor	Unidad
Media	465,0	qq/día
Desviación estándar	1,0	
Tamaño de la muestra	100	Un
Intervalos del 95% de confianza para la media 613,0	+/-0,198422	(464,802;465,198)
Hipótesis nula media	465,0	
Alternativa	no igual	
Estadístico t calculado	0,0	
Valor-P	1,0	
No se puede rechazar la hipótesis nula para alfa	0,05	
Hipótesis nula μ	465,0	
Hipótesis alterna $\mu <$ $>$	465,0	

El intervalo de confianza indica que los índices de μ soportados por los datos están entre 464,802 y 465,198. En la Figura 3.23 se representa la curva de potencia para los datos de media ensacadora.

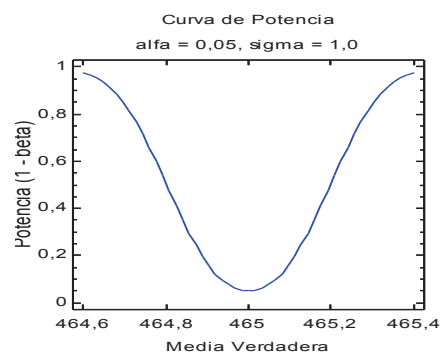


Figura 3.23 Curva de potencia para los datos de media ensacadora

La hipótesis es que la media de la producción del molino es igual a 1584 qq/parada, tal como lo arroja el modelo en la corrida de un turno, según la tabla 3.29.

Tabla 3.29 Condiciones a probarse en la prueba de hipótesis

Condición que se probará	Hipótesis alternativa
La media de la población es menor al objetivo	Unilateral $\mu < 1584$
La media de la población es mayor al objetivo	Unilateral $\mu > 1584$
La media de la población es diferente al objetivo	Unilateral $\mu \neq 1584$

En la Tabla 3.30 se presentan los datos reales de la producción del molino en quintales por día, tomados de los reportes de producción de Reproavi Cía. Ltda.

Tabla 3.30 Datos reales en qq/día recogidos en la producción en un turno de 8h

Nº	PRODUCCIÓN MOLINO	Nº	PRODUCCIÓN MOLINO	Nº	PRODUCCIÓN MOLINO	Nº	PRODUCCIÓN MOLINO
1	1584	26	1583	51	1582	76	1583
2	1583	27	1586	52	1583	77	1586
3	1585	28	1585	53	1585	78	1585
4	1586	29	1584	54	1586	79	1584
5	1582	30	1582	55	1582	80	1582
6	1583	31	1583	56	1583	81	1583
7	1584	32	1583	57	1584	82	1583
8	1584	33	1585	58	1584	83	1585
9	1585	34	1584	59	1585	84	1584
10	1583	35	1582	60	1583	85	1582
11	1586	36	1583	61	1586	86	1583
12	1585	37	1583	62	1585	87	1583
13	1584	38	1584	63	1584	88	1584
14	1582	39	1583	64	1583	89	1583
15	1583	40	1585	65	1583	90	1585
16	1583	41	1586	66	1583	91	1586
17	1584	42	1586	67	1584	92	1582

(Reproavi Cia. Ltda, (2016), p. 15)

Tabla 3.30 Datos reales en qq/día recogidos en la producción en un turno de 8h
(Continuación...)

Nº	PRODUCCIÓN MOLINO	Nº	PRODUCCIÓN MOLINO	Nº	PRODUCCIÓN MOLINO	Nº	PRODUCCIÓN MOLINO
18	1583	43	1583	68	1583	93	1583
19	1585	44	1584	69	1585	94	1584
20	1586	45	1584	70	1586	95	1584
21	1582	46	1585	71	1582	96	1585
22	1583	47	1583	72	1583	97	1583
23	1584	48	1586	73	1584	98	1586
24	1584	49	1585	74	1584	99	1585
25	1585	50	1584	75	1585	100	1584

(Reproavi Cia. Ltda, (2016), p. 15)

En la Tabla 3.31 se muestra el resumen estadístico de la prueba de hipótesis, obtenido del programa “Statgraphics”.

Tabla 3.31 Resumen estadístico para media molino

Recuento	100
Promedio	1583,88
Desviación Estándar	1,22499
Coefficiente de Variación	0,0773412%
Mínimo	1582,0
Máximo	1586,0
Rango	4,0
Sesgo Estandarizado	0,816162
Curtosis Estandarizada	-1,89448

En la Figura 3.24 se representa el gráfico de caja y bigotes obtenido también del programa estadístico “Statgraphics”, el cual permite visualizar que la media muestral está a la izquierda del valor de 1584, es decir, en el valor de 1583,88,

esta figura, ilustra gráficamente el rango de valores de la muestra, que está entre 1582 y 1586, así como su media.

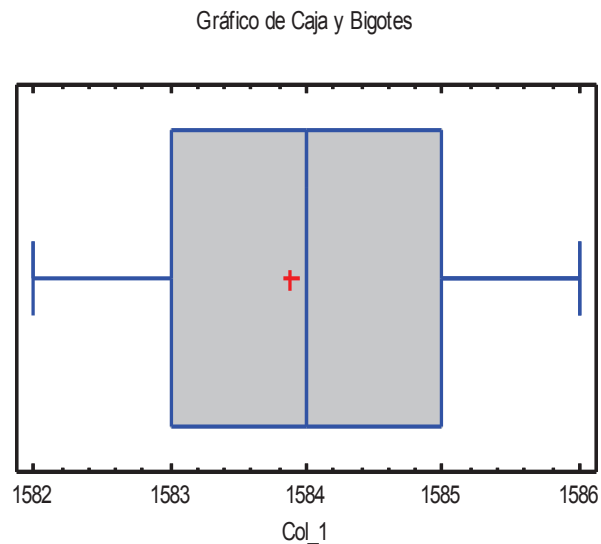


Figura 3.24 Gráfico de caja y bigotes para media molino

En la Tabla 3.32 se representan las frecuencias de los datos de producción del molino, que están dados en qq/día, divididos en 8 intervalos entre 1581,0 y 1587,00; cada intervalo, cuenta con su punto medio y su frecuencia, frecuencia relativa y frecuencia acumulada.

Tabla 3.32 Tabla de Frecuencias en qq/día

	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	1581,0		0	0,0000	0	0,0000
1	1581,0	1581,75	1581,38	0	0,0000	0	0,0000
2	1581,75	1582,5	1582,13	13	0,1300	13	0,1300
3	1582,5	1583,25	1582,88	30	0,3000	43	0,4300
4	1583,25	1584,0	1583,63	25	0,2500	68	0,6800
5	1584,0	1584,75	1584,38	0	0,0000	68	0,6800
6	1584,75	1585,5	1585,13	20	0,2000	88	0,8800
7	1585,5	1586,25	1585,88	12	0,1200	100	1,0000
8	1586,25	1587,0	1586,63	0	0,0000	100	1,0000
	mayor de	1587,0		0	0,0000	100	1,0000

Media = 1583,88 Desviación Estándar = 1,22499

En la Figura 3.26, se detalla el gráfico de cuartiles de los datos estadísticos de media molino, divididos en cuatro intervalos, entre 1582 y 1586, los cuales representan toda la muestra.

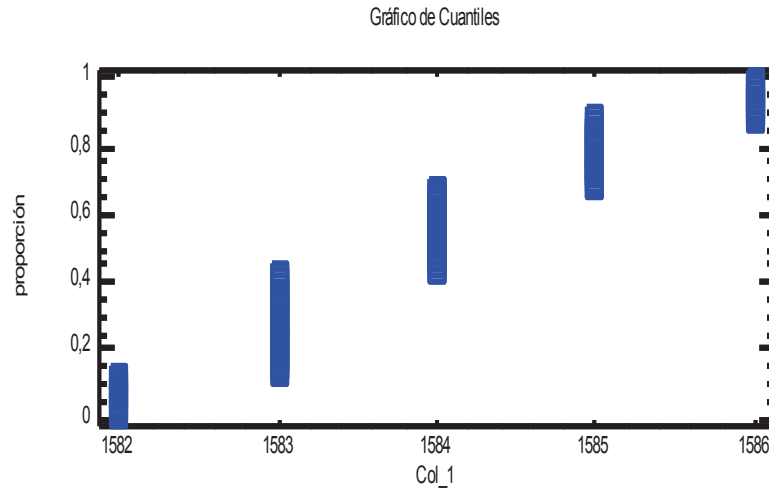


Figura 3.26 Gráfico de cuantiles de media molino

La Tabla 3.34, resume los resultados de la prueba de hipótesis de la producción de la ensacadora, contiene la media comprobada de la muestra.

Tabla 3.34 Prueba de Hipótesis ensacadora

Parámetro	Valor	Unidad
Media	1584,0	qq/día
Desviación estándar	1,0	
Tamaño de la muestra	100	un
Intervalos del 95% de confianza para la media 613,0	+/- 0,198422	[1583,8;1584,2]
Hipótesis nula media	1584,0	
Alternativa	no igual	
Estadístico t calculado	0,0	
Valor-P	1,0	
No se puede rechazar la hipótesis nula para alfa	0,05	
Hipótesis nula mu	1584,0	
Hipótesis alterna mu < >	1584,0	

La Figura 3.27, muestra la curva de potencia de la prueba de hipótesis de media molino.

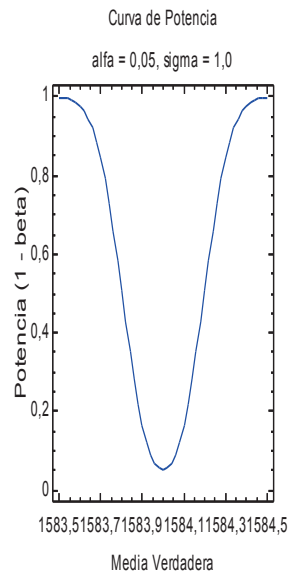


Figura 3.27 Curva de potencia de la hipótesis de media molino

3.1.3.6 Análisis de sensibilidad

Una vez construido y validado el modelo, se realizaron varias corridas con el fin de determinar el periodo de calentamiento del sistema o warm up necesario para que las variables de respuesta alcancen su estabilidad, para esto son analizadas las variables: rendimiento mezclado y rendimiento ensacado, cuyo comportamiento se muestra en las Figuras 3.28 y 3.29:



Figura 3.28 Gráfico de calentamiento de rendimiento ensacado

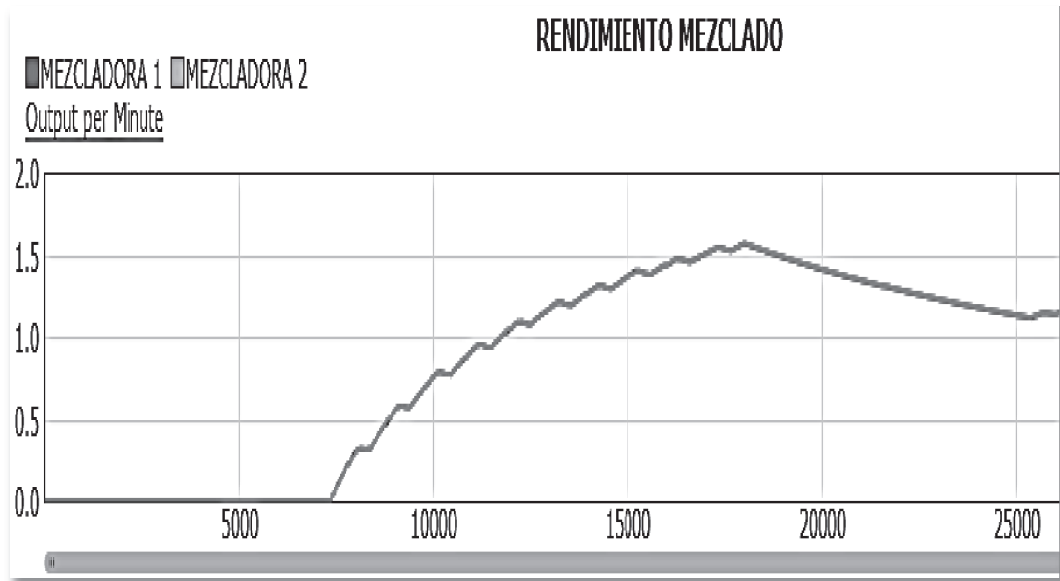


Figura 3.29 Gráfico de calentamiento de rendimiento mezclado

De los gráficos anteriores se deduce que el tiempo de calentamiento es de 18000 segundos y un tiempo de corrida (run time) de 9 horas o 32400 segundos desde las 7h00 hasta las 16h00 del 19 de diciembre de 2016, coincidiendo con la jornada de trabajo. Se consideró pertinente aceptar un error del 5 % y un nivel de confianza del 95 %, lo cual da un resultado de 80 réplicas para correr en el modelo, si se utilizara el 2 % de error se deberían correr 4260 réplicas, una cantidad muy grande que en sí no aumenta la reproducibilidad del modelo. La Tabla 3.35 muestra los resultados de la corrida para 80 réplicas.

Tabla 3.35 Resultados de la corrida para 80 réplicas

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	ERROR	L=LS-LI	CONDICIÓN $L \leq 2 * E$	CANTIDAD DE RÉPLICAS
Producción mezcladoras	quintales/dia	584	55	29	24	$24 \leq 29$	18
Producción ensacadora	quintales/dia	348	67	17	29	$29 > 17$	76

Los resultados indican que se cumplieron los parámetros de una distribución normal, siendo el error de 24 en 485, equivalente al 4,95 %, es decir, está dentro de los límites admisibles, dándose en 76 réplicas de corrida.

Se definió un solo escenario, que caracteriza el comportamiento actual de las variables independientes y como medidas de desempeño (performance measures), las propias variables dependientes. Mostrada en la Figura 3.30

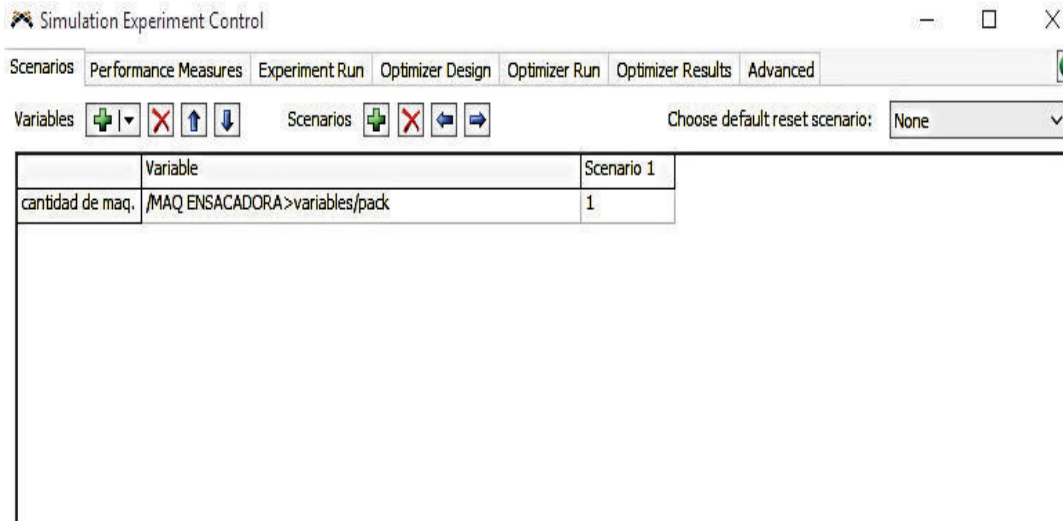


Figura 3.30 Escenario del modelo en Flexsim

3.1.3.7 Localización del cuello de botella

El análisis de la localización del cuello de botella se centra en la zona de mezcladoras, ensacadora y cosedora, debido a que en el modelo se nota claramente que es en estos sitios donde el sistema baja su ritmo de producción y que son un limitante para el desempeño del proceso.

En el análisis se toman en cuenta las variables dependientes definidas anteriormente en el sistema, en conjunto con las mediciones de desempeño y los indicadores de rendimiento de las operaciones de mezclado, ensacado y cosido.

La Tabla 3.36 muestra el rendimiento de las mezcladoras, con un 95% de confianza.

Tabla 3.36 Rendimiento de las mezcladoras

Resumen								
	Media (95 % Confianza)			Desviación estándar	Mínimo	Máximo		
Escenario Actual	2,460	<	2,508	<	2,557	0,219	2,238	3,158

El rendimiento de las mezcladoras es de 2,508 qq. /min, tomando en cuenta las operaciones de transporte de macro y micro ingredientes y la carga y descarga de las máquinas. La Tabla 3.37, representa el rendimiento de la ensacadora y la cosedora.

Tabla 3.37 Rendimiento de la ensacadora y cosedora

Resumen								
	Media (95 % Confianza)			Desviación estándar	Mínimo	Máximo		
Escenario Actual	1,864	<	1,940	<	2,015	0,338	1,433	2,175

Tomando en cuenta que la ensacadora y la cosedora son manuales, que las dos trabajan en conjunto al mismo ritmo, se determinó en el modelo que su rendimiento es de 1,94 qq/min, el cual es inferior al rendimiento de las mezcladoras, por lo que se puede asegurar categóricamente que el cuello de botella está en la ensacadora y cosedora.

En la Figura 3.31 se puede observar que las mezcladoras tienen un porcentaje nulo de trabajo en vacío (idle), un 18,89 % de procesamiento y el 81 % de colección de ingredientes, en cambio la ensacadora tiene 45,88 % de trabajo en vacío (idle), 48,74 % de procesado, solo 5,09 % de colección de ingredientes y 0,29 % de espera por transporte y la cosedora 66,20 % de trabajo en vacío, 10,43 % de procesamiento y 23,37 % de espera por operador. Al ser el procesamiento más alto en la ensacadora que en las mezcladoras, se nota que la ensacadora trabaja más tiempo para llevar el ritmo del proceso, por lo cual allí puede estar la restricción del sistema.

	UTILIZACIÓN MÁQUINAS								
	Total	idle	processing	blocked	empty	collecting	releasing	waiting for operator	waiting for transporter
IEZCLADORA 1	100.00%	0.00%	18.89%	0.00%	0.00%	81.11%	0.00%	0.00%	0.00%
IEZCLADORA 2	100.00%	0.00%	18.89%	0.00%	0.00%	80.42%	0.00%	0.69%	0.00%
OLVA 78	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.41%	0.00%	94.59%	0.00%	0.00%
IAQ ENSACADORA	100.00%	45.88%	48.74%	0.00%	0.00%	5.09%	0.00%	0.00%	0.29%
IAQ COSEDORA	100.00%	66.20%	10.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	23.37%	0.00%
LEVADOR 60	100.00%	91.55%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
RNSF									
IEZCLADORAS	100.00%	91.57%	0.00%	0.37%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	8.06%

Figura 3.31 Utilización de las máquinas mezcladoras, ensacadora y cosedora

Además, la tolva 7 y 8, de destino del producto mezclado tiene un contenido promedio de 154,22 quintales, es decir, un 69,46 % del contenido total de 222 quintales, por lo que se puede considerar que pasa la mayor parte del tiempo llena, lo cual también demuestra que la restricción está en la ensacadora, ya que no deja evacuar el contenido de la tolva, que siempre se mantiene casi llena. La Figura 3.32, muestra el contenido promedio de la tolva 7 y 8, en la simulación.

CONTENIDO PROMEDIO DE LA TOLVA 7 8		
	Maximum Content	Average Content
TOLVA 78	222.00	154.22

Figura 3.32 Contenido promedio de la tolva 7 y 8

3.2 EXPLOTACIÓN DEL CUELLO DE BOTELLA.

Una vez determinado que el cuello de botella o restricción son las máquinas ensacadora y cosedora, se procuró elevar el aprovechamiento de estos equipos, para subir su producción y así mejorar el rendimiento de todo el proceso, ya que el ritmo de toda la cadena está supeditado a ellos.

Se conversó con el supervisor de planta y con el gerente de producción de Reproavi Cía. Ltda. para encontrar la mejor manera de lograr subir la producción de la ensacadora sin tomar medidas físicas adicionales, solo asumiendo una estrategia administrativa, de rotar a los operadores de la ensacadora y de la cosedora en periodos de 2 horas, incluida la hora de almuerzo, dentro del turno de ocho horas, con lo que se logró conseguir un aumento del 2 % en la media de la producción de la ensacadora de 465 qq/día a 474 qq/día, como se muestra en la siguiente tabla de mediciones de la producción, la Tabla 3.38 muestra la producción de la ensacadora aumentada en el 2 %, medida en el mes de diciembre de 2016, quedando clara la estrategia.

Tabla 3.38 producción ensacadora aumentada el 2 %

N°	PRODUCCIÓN ENSACADORA	N°	PRODUCCIÓN ENSACADORA
1	474	16	473
2	473	17	474
3	475	18	473
4	476	19	475
5	472	20	476
6	473	21	472
7	474	22	473
8	474	23	474
9	475	24	474
10	473	25	475
11	476	26	473
12	475	27	476
13	474	28	475
14	472	29	474
15	473	30	472
	PROMEDIO		474

(Reproavi Cia. Ltda, (2016), p. 17)

La Tabla 3.39 representa el cálculo de la nueva producción de la planta de alimentos balanceados, luego del ajuste en los horarios de trabajo.

Tabla 3.39 Cálculo de la nueva producción luego del ajuste de horarios de trabajo

	RESULTADO	EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN DIARIA (qq/día)	PRODUCCIÓN ACTUAL (qq/día)
TIEMPO ALMUERZO (h)	1	2%	9,3	465
JORNADA (h)	9	11%		
NUEVA PRODUCCIÓN (qq/día)				474

Con esta medida, la producción de las mezcladoras se mantuvo en 584 qq/día, pero mejoraron los parámetros de utilización de las máquinas que no forman parte del cuello de botella, tal como se muestra en la Figura 3.33, obtenida de Flexsim:

	UTILIZACIÓN MÁQUINAS								
	Total	idle	processing	blocked	empty	collecting	releasing	waiting for operator	waiting for transporter
MEZCLADORA 1	100,00	2,60	20,92	0,00	0,00	76,48	0,00	0,00	0,00
MEZCLADORA 2	100,00	2,40	20,94	0,00	0,00	76,66	0,00	0,00	0,00
TOLVA 78	100,00	0,00	0,00	0,00	7,41	2,2	90,39	0,00	0,00
MAQ ENSACADORA	100,00	43,62	50,83	0,00	0,00	5,55	0,00	0,00	0,00
MAQ COSEDORA	100,00	64,00	14,8	0,00	0,00	0,00	0,00	21,20	0,00
ELEVADOR 60	100,00	89,40	10,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRNSF MEZCLADORAS	100,00	89,50	0,00	0,00	0,00	4,45	0,00	0,00	6,05

Figura 3.33 Utilización de máquinas mezcladoras, ensacadora y cosedora

Si se compara la Tabla 3.39 con la Figura 3.33, se puede observar que al subir un 2 % la producción de la ensacadora, se mejoraron de alguna manera los parámetros del resto de las máquinas, las mezcladoras aumentaron su trabajo en vacío y su procesamiento, bajaron su tiempo de recoger material. Esto incide en mejorar la uniformidad del proceso y por lo tanto la productividad del mismo.

3.3 SUBORDINACIÓN DEL RESTO DE ETAPAS AL RITMO DE LA RESTRICCIÓN.

El siguiente paso fue bajar el ritmo de producción a toda la cadena de proceso, con el fin de que todo el sistema marche al mismo ritmo de la restricción, esto se logró con la colaboración del Gerente de Producción, el supervisor de planta y los operadores de la maquinaria, de tal manera de que de acuerdo con la teoría de restricciones la producción sea uniforme en toda la línea en esta etapa.

A continuación, se analizarán las condiciones en cada una de las etapas:

3.3.1. ÁREA DE RECEPCIÓN DE MACRONUTRIENTES

Esta área como se explicó en el punto de análisis de los datos operativos, se considera fuera de los equipos que pueden causar restricción, ya que tiene los

grandes amortiguadores, que son los almacenamientos, silo 1 de 750 ton para almacenar maíz y silo 2 de 650 ton para almacenar torta de soya, por lo cual su ritmo de producción no fue subordinado a la capacidad de la restricción.

3.3.2. ÁREA DE MOLIENDA DE MACRO NUTRIENTES

El molino de martillos tiene su capacidad de entre 20 ton/h, cuando procesa maíz para alimento balanceado pre inicial, hasta 27 ton/h cuando procesa torta de soya, según está detallado en la Tabla 2.1 de datos de operación del molino de martillos, su capacidad depende principalmente de las cribas o mallas que se colocan en su descarga, las cuales regulan el tamaño del material molido que descarga el equipo.

Los dos tornillos transportadores y el elevador N. 3, que transportan el material molido a las cinco tolvas que almacenan el maíz molido y la torta de soya molida para utilizar como macro nutrientes para la elaboración de alimento balanceado, tienen una capacidad de 35 ton/h, la cual es superior a la de la restricción, pero no afecta al proceso, ya que tienen las cinco tolvas con una capacidad total de 55 ton, que sirven de amortiguador al proceso, es decir, que su ritmo no se ve afectado por la menor capacidad de la ensacadora y cosedora.

3.3.3. ÁREA DE MEZCLA DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES

Cómo se pudo ver en la sección 3.1.3.6 localización del cuello de botella, el rendimiento de las mezcladoras se calculó en 2,56 qq/min, mientras que el rendimiento de la ensacadora y cosedora se calculó en 1,94 qq/min, por lo que es necesario bajar el rendimiento de las mezcladoras a un valor igual al de la ensacadora y cosedora.

La forma más fácil de bajar el rendimiento de las mezcladoras es haciendo que los hombres que pesan y transportan los macro y micro ingredientes trabajen menos tiempo, reduciendo también el tiempo de trabajo de las máquinas, aproximadamente en la misma proporción que la diferencia de rendimiento entre las máquinas, es decir, un 32 % menos. Los trabajadores que quedan libres en las mezcladoras durante el tiempo necesario para equilibrar el ritmo de la ensacadora, pueden ser dedicados a otras tareas en la planta de balanceado, ellos podrían

pasar a colaborar en la zona de la ensacadora y cosedora que son las que necesitan mayor trabajo para equilibrar el ritmo de la producción, es decir, son el tambor que marca el ritmo del sistema para que marche a una sola velocidad de producción.

Las mezcladoras por su sistema manual de carga son los equipos más versátiles de la instalación para regular su capacidad, ya que dependen de la velocidad de desplazamiento de los operadores, que transportan los materiales.

En la tabla 3.40 se muestra el resultado de la medición del rendimiento de las mezcladoras luego de la reducción del tiempo de transporte, lo cual tiene como objeto la subordinación de las mezcladoras al ritmo de la restricción, que son la ensacadora y la cosedora, dentro del proceso que se hizo para cumplir con la teoría de restricciones en la planta de elaboración de alimento balanceado para aves de la empresa Reproavi Cía. Ltda.

Tabla 3.40 Rendimiento de las mezcladoras luego de la reducción del tiempo de transporte de macro y micro ingredientes

Resumen								
	Media (95 % Confianza)			Desviación estándar	Mínimo	Máximo		
Escenario 2	1.9256	<	1.9434	<	1.9567	0.0212	1.9125	1.9624

En la Figura 3.34 de utilización de máquinas refleja la subordinación de las mezcladoras a la ensacadora, con un aumento del trabajo en vacío (idle) de 2,6 % a 61,32 %; también se notó una variación en los parámetros de utilización del elevador y del tornillo transportador a la salida de las mezcladoras, con mayores porcentajes de tiempo de procesamiento para estos equipos y un mayor tiempo de trabajo en vacío de las tolvas que están sobre la ensacadora.

La ensacadora y la cosedora no varían sus parámetros de utilización, lo cual se ve reflejado en la Figura 3.34, ya que sus parámetros se mantienen constantes, de manera similar que en los análisis realizados anteriormente. De igual manera, la tolva 78 pasó de estar llenándose el 94,59 % a hacerlo solo el 50,25 % del tiempo, lo cual refleja un menor tiempo en que pasó llena, es decir, que el funcionamiento

de la ensacadora y cosedora fue más regular con respecto a las mezcladoras, permitiendo que el sistema funcione a un solo ritmo.

	UTILIZACIÓN MÁQUINAS								
	Total	idle	processing	blocked	empty	collecting	releasing	waiting for operator	waiting for transporter
MEZCLADORA 1	100,00	38,68	61,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEZCLADORA 2	100,00	40,68	59,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOLVA 78	100,00	0,00	0,00	0,00	47,81	1,94	50,25	0,00	0,00
MAQ ENSACADORA	100,00	43,62	50,83	0,00	0,00	5,55	0,00	0,00	0,00
MAQ COSEDORA	100,00	64,00	14,8	0,00	0,00	0,00	0,00	21,20	0,00
ELEVADOR 60	100,00	54,40	45,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRNSF MEZCLADORAS	100,00	60,50	39,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,05

Figura 3.34 Utilización de las máquinas luego de la subordinación de las mezcladoras al ritmo de la restricción

3.3.4. ÁREA DE ENFUNDADO Y COSIDO DE SACOS

En esta área se mantienen las condiciones anteriores, ya que es el sector de la restricción, por lo que su capacidad ya fue elevada en la sección 3.2 explotación del cuello de botella.

3.3.5. ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE SACOS PALETIZADOS

Esta área tampoco es afectada por la restricción, por lo cual, su capacidad equivalente a 2000 qq o 67 pallets de 30 qq cada uno, se mantiene y más bien está relacionada con la capacidad de consumo y transporte de Reproavi Cía. Ltda. hacia las diez granjas que posee, por lo que no tiene relación con el ritmo del cuello de botella, se consideraría en cierta forma una bodega amortiguadora ilimitada, ya que en ella se podrían almacenar mayor cantidad de pallets, llegándose tranquilamente tal vez hasta unos 3000 qq o 100 pallets de 30 sacos cada uno, ya que el área ocupada por esta bodega en el galpón de la planta de elaboración de alimentos balanceados es grande.

3.4. DETERMINACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LEVANTAR LA RESTRICCIÓN

Las alternativas para levantar la restricción, se evaluaron en conjunto con el gerente de producción, el gerente de mantenimiento y el supervisor de planta de la fábrica de alimentos balanceados de Reproavi Cía. Ltda. tomando en cuenta que la restricción del proceso está ubicada en el sector de las máquinas ensacadora y cosedora, siendo la intención de la alta dirección de la empresa que la solución contemple alternativas que no sean onerosas para la compañía y permitan levantar el cuello de botella de forma efectiva y rápida.

Se analizó la posibilidad de instalar una ensacadora, una cosedora adicional y una tolva anexa a la actual que está ubicada sobre la ensacadora; utilizando el modelo de simulación para estudiar a fondo estas alternativas, desde el punto de vista económico y de la producción, se pudo determinar la conveniencia o no de estas opciones. Los objetivos relacionados con la optimización de la producción de la planta de elaboración de alimento balanceado para aves de Reproavi Cía. Ltda. se muestran en la siguiente Tabla 3.41, dichos objetivos sirvieron para parametrizar el modelo en su módulo de optimización y programarlo para realizar la selección de la mejor alternativa para la mejora de producción:

Tabla 3.41 Objetivos de la optimización de la producción de la planta de balanceado

Objetivo de optimización	Variable independiente	Denominación	Unidad de medida
Determinar la cantidad óptima de elementos en el sistema que permitan eliminar la restricción del sistema.	Cantidad de máquinas ensacadoras	Q_{ME}	(u)
	Cantidad de máquinas cosedoras	Q_{MC}	(u)

Los objetivos de la optimización, definieron los escenarios y la función objetivo a plantearse en el trabajo. Las variables Q_{ME} y Q_{MC} sirven para trabajar en el modelo con la banda alta (upper bound) y banda baja (lower bound) definidas a partir de los resultados analizados en numerales anteriores, tomando en cuenta que el

punto limitante es la operación de ensacado, la cual requiere aumentar su rendimiento para levantar la restricción física del proceso industrial. Para el establecimiento de soluciones factibles se establecieron dos funciones objetivo:

- Max(producción): incrementar la producción por turno en un 10 %.
- Min(costos): bajar en un 5 % el costo de producción.

En la Tabla 3.42, se calculan los costos de producción de los bienes, con el detalle de todos los ingredientes que conforman las tres recetas de alimentos balanceados, tomando como referencia el valor de mercado de los sacos de alimento balanceado.

Tabla 3.42 Cálculo costos materia prima

Rubro	Costo unitario (kg/un)	Volumen parada (kg)	Costo parada pre inicial (\$)	Costo parada inicial (\$)	Costo parada engorde (\$)	Costo pre inicial (\$/qq)	Costo inicial (\$/qq)	Costo engorde (\$/qq)
Maíz	0,17	800,00	136,04	51,74	51,74	3,09	2,59	2,59
Torta de soya	0,17	800,00	136,04	51,74	51,74	3,09	2,59	2,59
Afrecho	0,24	90,00	21,77	8,28	8,28	0,49	0,41	0,41
Polvillo Arroz	0,24	90,00	21,77	8,28	8,28	0,49	0,41	0,41
Melaza	0,24	90,00	21,77	8,28	8,28	0,49	0,41	0,41
Aceite Palma	0,68	32,00	21,77	8,28	8,28	0,49	0,41	0,41
Sal	0,49	22,00	10,88	4,14	4,14	0,25	0,21	0,21
Micro ingredientes	5,23	26,00	136,04	51,74	51,74	3,09	2,59	2,59
Carbonato calcio	0,76	50,00	38,09	14,49	14,49	0,87	0,72	0,72
Costo materia prima		2000	544,17	206,98	206,98	12,37	10,35	10,35
Costo materiales			11,11			0,25	0,21	0,21
Costo por quintal		45,00	555,28			12,62	10,56	10,56
Precio venta		45,00	555,28			16,41	13,73	13,73

Los costos se establecieron a partir de el volumen de producción, fijado en base a datos operativos en 521 qq/día, a un valor promedio estimado de 12,03 \$/qq, es decir, 6267,63 \$/día, tomando en cuenta las proporciones que de cada ingrediente se tiene en la mencionada receta, hasta llegar a precios de mercado del alimento balanceado, en su costo de producción y de venta; lo cual en el futuro permitirá con el aumento de producción que se tenga con la mejora, comercializar los alimentos, para iniciar en la Provincia de Imbabura con expansiones futuras a la provincia del Carchi y a la provincia de Pichincha, siempre pensando en la rentabilidad del proyecto, para que esta planificación tenga una exitosa culminación, con los productos obtenidos de la fabricación de alimentos balanceados.

El resumen de costos variables se presenta en la Tabla 3.43, desglosándose en las tres recetas establecidas.

Tabla 3.43 Costos variables del alimento balanceado

COSTOS VARIABLES (CV)			
COSTOS	PREINICIAL (\$/qq)	INICIAL (\$/qq)	ENGORDE (\$/qq)
MATERIA PRIMA	12.37	10.35	10.35
MATERIALES	0.25	0.21	0.21
TOTAL	12.62	10.56	10.56

Se consideraron como costos fijos los sueldos de los operarios ya que se tiene la política de no realizar horas extras, por lo que su sueldo es fijo, no depende de la producción, estos cálculos se presentan en la Tabla 3.44 y sirvieron en la parametrización del modelo:

Tabla 3.44 Costos fijos

COSTOS FIJOS (CF)				
COSTOS	N°	\$/mes	\$/día	costo diario
SERVICIOS BASICOS	1	2916	132,55	132,55
SUELDO OPERARIOS	10	400	18,18	181,82
SUELDO ADMINISTRATIVOS	2	1000	45,45	90,91
TOTAL				405,28

A partir de estos parámetros se calcularon los costos unitarios de producción que constan en la Tabla 3.45.

Tabla 3.45 Costos unitarios de producción

	PREINICIAL	INICIAL	ENGORDE
Costo variable (\$/qq)	12.62	10.56	10.56
Costo fijo (\$/qq)	0.79	0.79	0.79
CU actual (\$/qq)	13.41	11.35	11.35

Con todos estos datos se diseñó en Flexsim el modelo de optimización, cuya pantalla aparece en la Figura 3.35, utilizando el módulo “optimizer” del programa, para determinar el escenario más propicio para la mejora de producción, tomando en cuenta todos los parámetros operativos y económicos del sistema de fabricación de alimento balanceado para aves de Reproavi Cía. Ltda, planteando los diferentes escenarios disponibles.

En la Figura 3.35, también se ven las bandas fijadas en cuanto a las ensacadoras y cosedoras entre 1 y 2 unidades y las funciones objetivo de maximizar producción y minimizar costos. Cuyos escenarios se analizaron con miras a escoger la mejor alternativa de optimización de la producción de la planta de elaboración de alimentos balanceados, con los objetivos de maximizar la producción de la ensacadora y minimizar el costo de dicha producción.

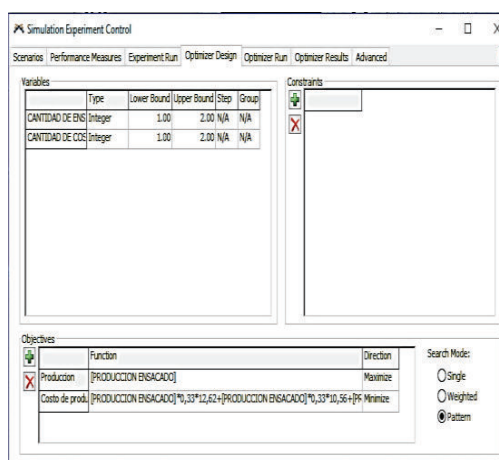


Figura 3.35 Diseño del modelo de optimización

3.5 PROPONER LA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN

Luego de realizar la corrida de optimización de un día de trabajo en el modelo con su respectivo calentamiento (warm up) de 18000 segundos (5 horas), este produjo cuatro soluciones de entre las cuales dos permiten el incremento de la producción, tal como se puede ver en la Figura 3.36:

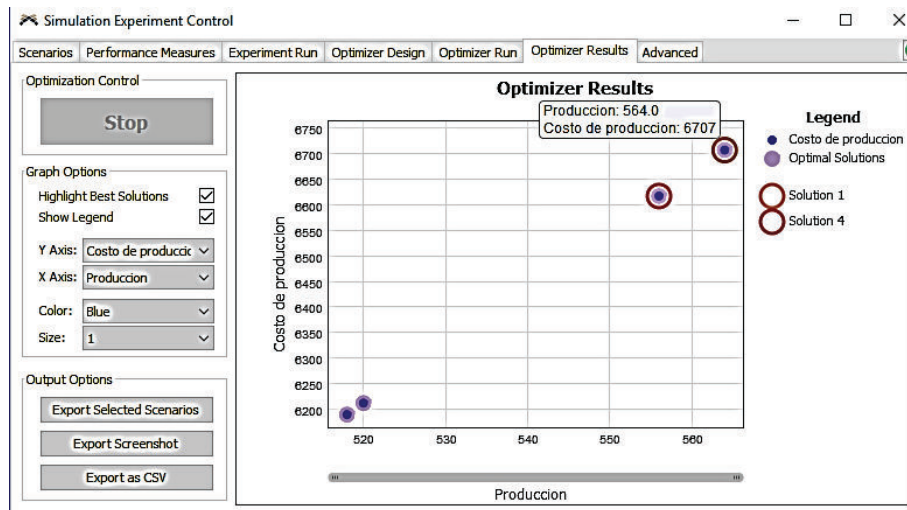


Fig. 3.36 Solución uno del proceso de optimización

El punto de doble circunferencia de la esquina superior derecha, de la figura 3.35, da como resultado que la producción sube a 564 qq/día desde los 474 qq. /día que se fijaron en la sección 3.2, es decir, que sube un 18,99 %, con un costo de producción de 6707 \$/día., es decir, solo un 8,68% mayor al costo de producción de 6171,39 \$/día establecido en el numeral anterior, este escenario se da aumentando una ensacadora y una cosedora al sistema. A continuación, se presenta el análisis de la Figura 3.37.

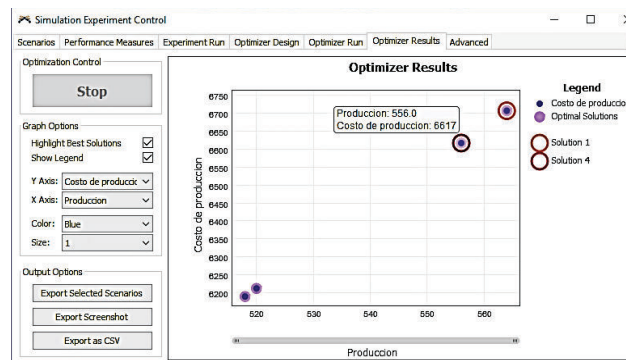
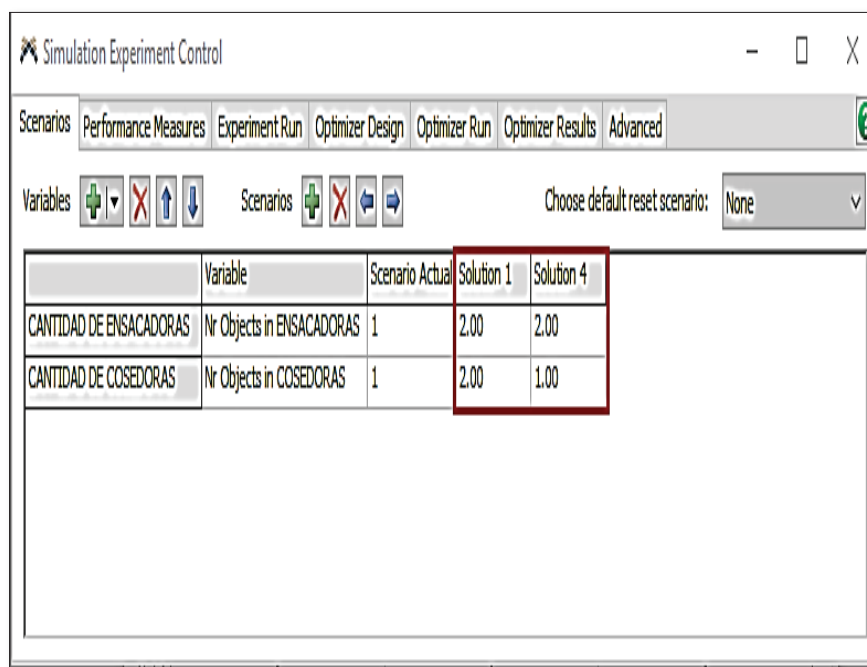


Figura 3.37 Solución cuatro del proceso de optimización

El punto de doble circunferencia de la esquina superior derecha, da como resultado que la producción sube a 556 qq/día desde los 474 qq. /día que se fijaron en el punto 3.2, es decir, que sube un 17,30 %, con un costo de producción diario de 6 617 \$/día., es decir, solo un 5,57 % más alto que costo de producción diario de 6 267,63 \$/día establecido en el numeral anterior, este escenario se da aumentando una ensacadora al sistema.

En la Figura 3.38, se pueden observar los dos escenarios de las soluciones factibles, la primera con dos ensacadoras y dos cosedoras implementadas y la segunda con dos ensacadoras y una cosedora implementada, los cuales eran los posibles escenarios de la solución a sugerirse, como parte de la mejora que se está construyendo en este proyecto de investigación en el cual se debe subir la producción a un costo razonable:



The screenshot shows the 'Simulation Experiment Control' window. At the top, there are tabs for 'Performance Measures', 'Experiment Run', 'Optimizer Design', 'Optimizer Run', 'Optimizer Results', and 'Advanced'. Below the tabs, there are controls for 'Variables' and 'Scenarios', including plus, minus, and arrow icons. A dropdown menu for 'Choose default reset scenario:' is set to 'None'. The main area contains a table with the following data:

	Variable	Scenario Actual	Solution 1	Solution 4
CANTIDAD DE ENSACADORAS	Nr Objects in ENSACADORAS	1	2.00	2.00
CANTIDAD DE COSEDORAS	Nr Objects in COSEDORAS	1	2.00	1.00

Fig. 3.38 Escenarios para las soluciones factibles

El aumento de una ensacadora influye significativamente en la producción, con un aumento del 17,30 %, mientras que el aumento de una cosedora tiene una influencia muy pequeña, de un 1,69 %, por lo que no se considera valioso su

aporte, comparado con la inversión que se debería realizar. Esto se muestra en la Figura 3.39.

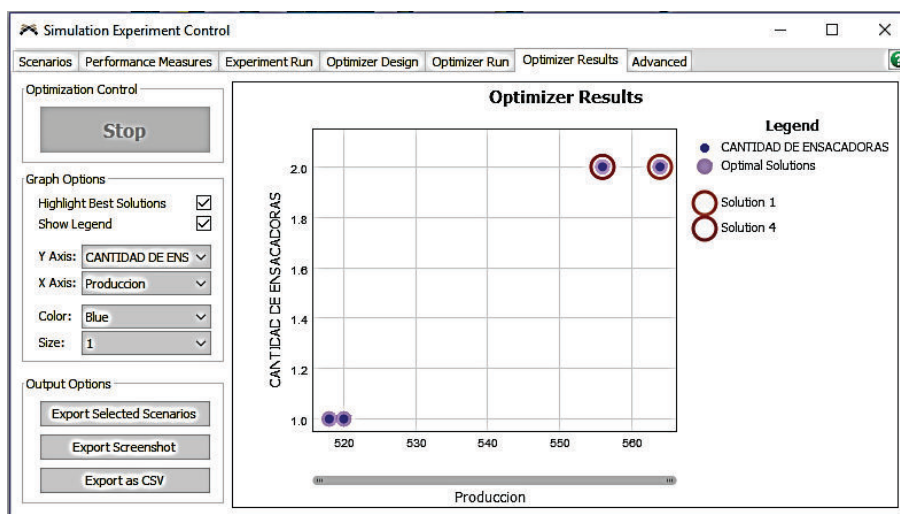


Figura 3.39 Análisis del aumento de una ensacadora

Se puede observar en la Figura 3.39 que al aumentar una máquina ensacadora el aumento de producción es notable, en cambio en la Figura 3.40 se nota que al aumentar la cantidad de cosedoras de una a dos el aumento de producción es pequeño.

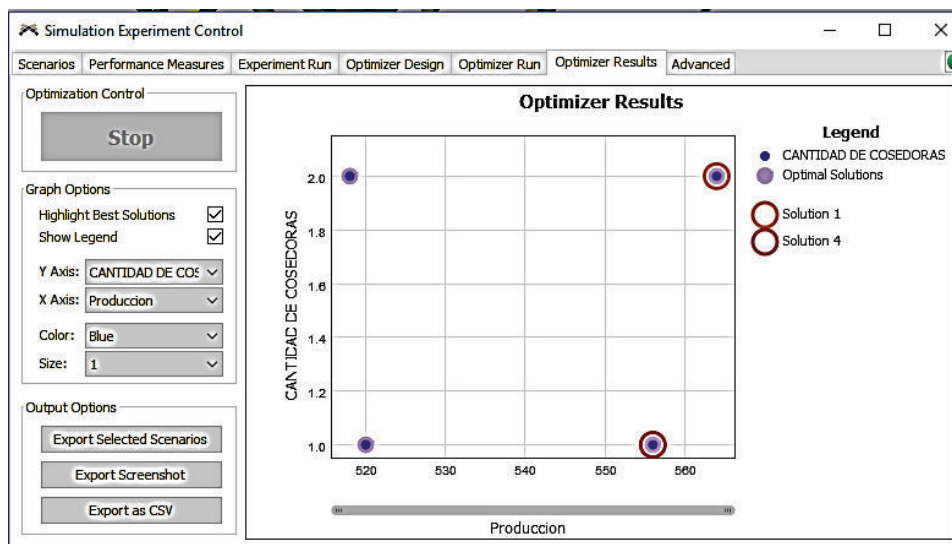


Fig. 3.40 Análisis del aumento de una cosedora

Otro aspecto relevante que fuera tomado en cuenta en las alternativas de solución es la opción de instalar otra tolva adicional a las dos existentes N° 7 y 8, para

aumentar la producción, fue también analizado mediante el modelo de simulación, obteniéndose el resultado de que no es necesario, ya que al adaptar una nueva ensacadora a la descarga de las mencionadas dos tolvas N° 7 y 8 se pudo comprobar numéricamente y gráficamente que baja el bloqueo por saturación de los almacenamientos, como se puede apreciar en la Tabla 3.46, la media baja de 222,0 ton a 79,8 ton en la solución 1 y a 91,4 ton en la solución 4, no se toma en cuenta las soluciones 2 y 3 por no ser favorables para los propósitos de la investigación; la desviación estándar de la muestra sube de 0,0 en su valor actual a 19,9 en la solución 1 y a 46,6 en la solución 4, valores que indican que existe en las soluciones, especialmente en la N. 4 mayor dispersión en los datos obtenidos en el cálculo, debido a que es una proyección, este indicador no es relevante, sino la posibilidad de que se pueda establecer una apropiada solución a la necesidad que se está analizando, Los valores mínimos de la carga establecida para las tolvas 7 y 8 si son verdaderamente notorios ya que 222,0 ton, baja para la solución 1 a 69 ton y para la solución 4 a 70 ton.

Tabla 3.46 Datos acerca del llenado de las tolvas 7 y 8 en la corrida de optimización

Resumen								
	Media (95 % Confianza)				Desviación estándar	Mínimo	Máximo	
Escenario Actual	N/A	<	222.0	<	N/A	0.0	222.0	222.0
Solución 1	79.8	<	84.2	<	88.7	19.9	69.0	209.0
Solución 4	91.4	<	101.8	<	112.2	46.6	70.0	214.0

En la solución 1, en la que se aumenta una ensacadora y una cosedora, el nivel de llenado promedio de las tolvas 7 y 8 es de 84 qq, frente a la capacidad de 222 qq, en la solución 4 sube el promedio a 101,8 qq, que es el 45,86 % de la capacidad total de la tolva, que no es muy alto tampoco, con solo el aumento de la ensacadora sin la cosedora. En la Figura 3.40 se representa el llenado de las tolvas, se puede notar que el escenario actual, es de saturación de la tolva 7 y 8, alrededor de 220 ton, en cambio en la solución 1, se ve que la saturación está alrededor de 80 ton, con pocos valores cerca de 200 ton, en cambio, en la solución 4, también la mayoría de valores están cerca de las 80 ton, pero existen más valores en las cercanías de 200 ton, esto indica que la solución 1 es mejor, pero que la solución 4 no es mala, por lo que se puede escoger cualquiera de las dos para la solución, esto se muestra en la Figura 3.41.

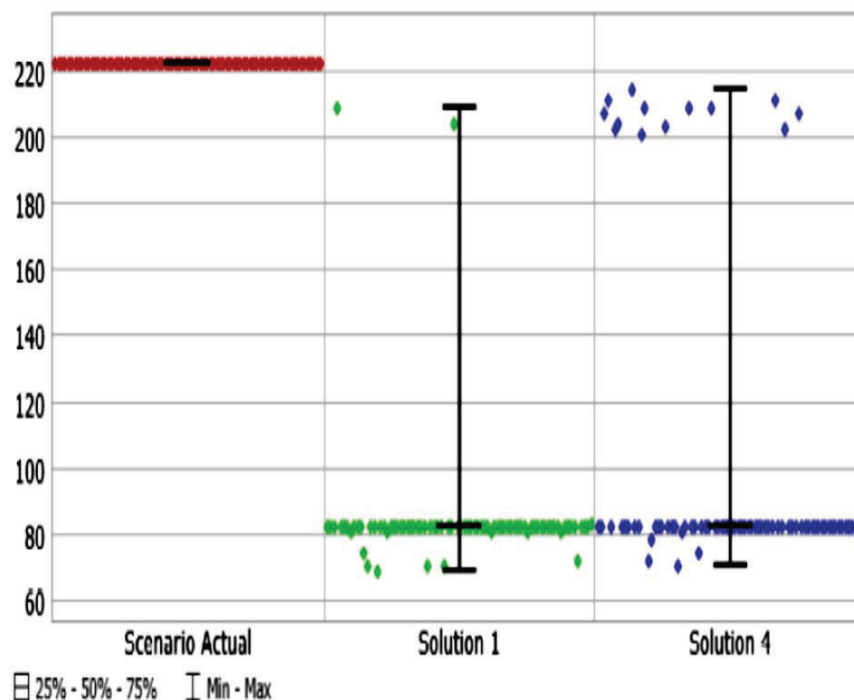


Figura 3.41 Gráficos de llenado de las tolvas 7 y 8

Actualmente las tolvas están saturadas con 220 qq, mientras que en la solución 1 baja a 84 qq en promedio con muy pocos puntos sobre los 200 qq y en la solución 4 el promedio es de 101,8 qq, con un aumento de puntos sobre los 200 qq, pero en un nivel todavía tolerable, por lo cual no es necesario aumentar otra tolva.

Por lo anteriormente expuesto, la alternativa de mejoramiento de la producción propuesta de acuerdo con la teoría de restricciones y a los resultados de la corrida de optimización del modelo es la de aumentar una ensacadora al sistema actual y dejar el resto de máquinas estables sin ninguna modificación.

3.6 ANÁLISIS DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

De los resultados de la optimización del proceso de elaboración de alimento balanceado de Reproavi Cía. Ltda. se obtuvieron algunos datos que ayudarán a plantear la discusión acerca del trabajo desarrollado en el presente documento. El rendimiento de la ensacadora se logró incrementar en la simulación, por sobre el rendimiento de las mezcladoras, demostrando que se pudo levantar la restricción, como se observa en la siguiente tabla, donde el rendimiento de las mezcladoras es de 2,45, mientras que el de la ensacadora es de 2,46; en la Tabla 3.47 se muestra el cuadro comparativo de parámetros del sistema:

Tabla 3.47 Cuadro comparativo de parámetros del sistema en el escenario actual vs las soluciones 1 y 4

Variables	Escenario actual	Solución 1 (QME=2 y QMC=2)	Solución 4 (QME=2 y QMC=1)
% bloqueo TRNSF mezcladoras	0,1138	0,1102	0,1142
% idle operarios mezclado	8,38	8,29	8,54
% idle ensacadora	67,5	56	55,3
% idle cosedora	88,3	83,6	81,8
% idle montacargas	69	62,4	63
Rendimiento molino (qq/min)	6,6	6,6	6,6
Rendimiento mezclado (qq/min)	2,45	2,39	2,45
Rendimiento ensacado (qq/min)	2,18	2,4	2,46
Producción total (qq/día)	474	564	556
Contenido máximo tolva 7-8 (capacidad 222 qq)	222	81	81

Se puede concluir a partir de los datos de la tabla que baja el trabajo en vacío de la ensacadora, cosedora y montacargas; aumenta la producción total y baja el

contenido máximo de la tolva 7-8 que está sobre la ensacadora, evitando su bloqueo.

En cuanto a los objetivos de la simulación enunciados en sección 2.4.1.2, se han cumplido totalmente de acuerdo con los datos de la siguiente Tabla 3.48:

Tabla 3.48 Análisis de objetivos propuestos

	Volumen de producción	Producción diaria	Costo unitario
COSTOS	\$/día	qq/día	\$/qq
Costo actual	6267,63	474	13,22
Costo propuesta	6617,00	556	11,90
Diferencia		17 %	-10 %

La producción diaria se ha incrementado en un 17 %, siendo el objetivo de que se incremente en un 10 % y el costo unitario se ha reducido en un 10 %, siendo el objetivo de que se reduzca en un 5 %.

Luego de establecer la propuesta alternativa de mejoramiento de la producción para la fábrica de alimentos balanceados para aves, es necesario realizar un balance para establecer los nuevos parámetros de producción que tendrían los equipos de la planta que participaron en el estudio de la teoría de restricciones, es decir, el molino, las mezcladoras, la ensacadora y la cosedora.

Como se puede observar en la tabla 3.49, el rendimiento y la producción de las ensacadoras y de las mezcladoras quedarían nivelados en alrededor del valor de 2,45 qq./min y 556 qq/día respectivamente, en cambio el molino tiene un rendimiento de 6,6 qq./min y una producción diaria de 1584 qq./día, es decir, que es una máquina muy superior a las otras, por lo que no es posible nivelar fácilmente sus parámetros, para lo cual se requeriría casi triplicar el rendimiento y la producción de las mezcladoras y ensacadoras, razón por la cual es muy pertinente el amortiguador que existe en las cinco tolvas que están situadas a continuación del molino, las cuales permiten almacenar la producción de este equipo y que permanezca detenido una gran cantidad de tiempo en la jornada

diaria de trabajo, además posibilitan el clasificar los productos de acuerdo con las recetas que se manejan en la planta.

3.7 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA

A continuación, se analiza el costo de la implementación de la nueva ensacadora en la planta de fabricación de alimento balanceado de Reproavi Cía. Ltda. En la Tabla 3.49 se muestra la información de compra de dos ensacadoras:

Tabla 3.49 Costo de la nueva ensacadora

ENSACADORA COMPLETA		
Marca	Paglierini	Salo SL
Origen	Italia	España
Costo en origen €	20 000,00	8 650,00
Tasa de cambio \$/€	1,07318	1,07318
Costo FOB España \$	21 463,96	9 283,01
Costo CIF Guayaquil \$	23 609,96	10 211,31
Costo DDP Ibarra \$	28 331,95	12 253,57
Costo estimado instalación \$	7 932,95	3 431,00
Costo total ensacadora \$	47 597,68	20 586,00

Una española marca Salo y una italiana marca Paglierini, el costo de la primera en origen es de € 8650,00, la cual, al cambio de 1,07318 dólares por euro, equivale a \$ 9 283,01, más los gastos de exportación para colocarla en puerto español, llega a \$ 10 211,31, el costo calculado hasta llegar a Guayaquil vía marítima llega a \$ 12 253,57, con el pago de aranceles y demás gastos de nacionalización, llega a un valor \$ 17 155,00 DDP Ibarra, con los costos de instalación estimados en el valor de \$ 3 431,00, llegando al valor total de \$ 20 586,00 de la máquina; la ensacadora italiana, tiene un valor en origen de € 20 000,00, por lo que con todos

los gastos proyectados para su importación, llega a costar \$ 47 597,68, por lo que se prefiere la máquina española, entre las dos marcas de ensacadoras cotizadas se escogió la más económica de procedencia española, marca Salo con un plazo de entrega de tres meses FOB puerto español.

Las características técnicas de la nueva ensacadora serían báscula ensacadora, sistema automático de pesaje, fabricada en acero inoxidable, pesaje y ensacado automático, apertura y cierre de válvula de cuchilla neumática, dos celdas de carga, con accesorios y carcasa; visor de llenado a dos velocidades con pre selección y descarga, posee mecanismos de control de maniobras, electroválvulas; controlador y regulador de pesaje variable con visor incorporado, sinfín dosificador con adaptador de velocidad variable, conectado a sistema informático con acumulación de memoria de pesaje de 10 a 50 Kg. Como se muestra en la Figura 3.42:



Figura 3.42 Ensacadora automática Salo
(S.A. 2017, p. 1)

El costo total de la inversión en la nueva ensacadora sería de \$20 586,00, inversión que al 15 % de interés del financiamiento, se recuperaría en aproximadamente 11 meses, con el ahorro de \$ 2 474,76 mensuales que se calcula se lograría con la alternativa de optimización. En la Tabla 3.50 se muestra el ahorro estimado generado por la implementación de la alternativa, de manera diaria, mensual y anual, con lo cual se propone incrementar la producción en un 17 % y reducir el costo en un 10 %, aproximadamente, notándose que en menos

de un año se recuperaría la inversión, ya que se invertiría \$20 586,00 y se recuperaría \$29 697,10.

Tabla 3.50 Ahorro estimado generado por la implementación de la alternativa de optimización

	Volumen de producción	Producción diaria	Costo unitario	Ahorro diario	Ahorro mensual	Ahorro anual
Costos	\$/día	qq/día	\$/qq			
Costo actual	6267,63	474,00	13,22			
Costo propuesta	6617,00	556,00	11,90	112,49	2474,76	29697,10
Diferencia		17%	-10%			

La maquinaria industrial se deprecia según el SRI a una tasa del 10 % anual utilizando el método de depreciación lineal, razón por la cual la tabla de flujos netos para la ensacadora sería la indicada en la Tabla 3.51:

Tabla 3.51 Flujos de inversión y recuperación de capital anuales para la nueva ensacadora

AÑOS	
1	-20 586,00
2	29 697,10
3	29 697,10
4	29 697,10
5	29 697,10
6	29 697,10
7	29 697,10
8	29 697,10
9	29 697,10
10	29 697,10

El Van para este flujo de gastos e ingresos es de \$ 243 739,60, lo cual quiere decir que el proyecto es sumamente rentable, en cambio por el método de recuperación del capital, en un año se recupera la inversión, por esta razón se calculará el VAN para el flujo mensual de ingresos, ya que el periodo de recuperación, es de menos

de un año, por lo que a pesar de la crisis económica que vive el sector de crianza y explotación de aves, se ve atractivo el proyecto, mismo se muestra en la Tabla 3.52.

Tabla 3.52 Flujos de inversión y recuperación de capital mensuales para la nueva ensacadora

MESES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-20586,00	2474,76	2474,76	2474,76	2474,76	2474,76	2474,76	2474,76	2474,76	2474,76

El VAN calculado es de \$ 1 441,14, en el periodo de 10 meses se recuperaría la inversión de \$ 20 586,00 de la ensacadora, lo cual es rentable para la empresa, si se disminuye la tabla a 9 meses, el VAN se hace negativo. La inversión es totalmente factible, ya que se recupera en menos de un año, lo cual evita que se paguen altos intereses por el financiamiento del capital de inversión. El impacto de la inversión, tomando en cuenta que, en el año 2016, según datos de la Superintendencia de Compañías, el patrimonio de Reproavi Cía. Ltda. fue del valor de \$1 059 621,96 y estimando un crecimiento anual del 1,12 %, similar a la inflación anual estimada por el INEC para el año 2016. La Tabla 3.53, presenta el cálculo estimado del impacto financiero de la inversión en la ensacadora, para los años 2017 a 2026.

Tabla 3.53 Impacto financiero anual de la inversión con respecto al patrimonio

AÑOS	Pérdida o ganancia anual por la inversión	Patrimonio anual estimado Reproavi	Rentabilidad anual en porcentaje
2017	-20 586,00	1 072 337,42	- 1,92 %
2018	29 697,10	1 085 205,47	2,74 %
2019	29 697,10	1 098 073,52	2,70 %
2020	29 697,10	1 110 941,57	2,67 %
2021	29 697,10	1 123 809,62	2,64 %
2022	29 697,10	1 136 677,67	2,61 %
2023	29 697,10	1 149 545,72	2,58 %
2024	29 697,10	1 162 413,77	2,55 %
2025	29 697,10	1 175 281,82	2,53 %
2026	29 697,10	1 188 149,87	2,50 %

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El modelo de simulación elaborado en el programa Flexsim, funcionó para detectar el cuello de botella en el área de ensacado de la planta, conjuntamente con una serie de mediciones realizadas y sin perturbar el proceso real se logró establecer con base en el rendimiento de la ensacadora de 1,45 kg/s (1,94 qq. /min) y de las mezcladoras de 1,88 kg/s (2,508 qq. /min.), así como de la saturación de la tolva 7 – 8 de la ensacadora, de 6 934,35 kg (154,22 qq) de 9 982,01 kg (222 qq.).

La aplicación de la teoría de restricciones al proceso de fabricación de alimento balanceado de la empresa Reproavi Cía. Ltda. permitió, sin inversiones, solamente con medidas administrativas, tales como implementar una mejor organización del personal, mejorar la producción en un 2 %, de 0,24 kg/s (465 qq. /día) a 0,25 kg/s (474 qq. /día).

El establecimiento de la alternativa más efectiva y económica para levantar la restricción del proceso de elaboración del alimento balanceado se realizó utilizando el módulo “optimizer” del modelo de simulación con lo cual se llegó a determinar que lo mejor es aumentar al proceso una ensacadora de características similares a la existente, se conseguiría un 17,30 % de aumento en la producción, ya que, si se aumenta también una cosedora, la capacidad solo aumenta en un 1,69 % adicional, por lo que económicamente no es razonable.

La evaluación económica final de la propuesta indica que se puede conseguir un 17 % de aumento de producción y un ahorro de un 10 % en los costos, con una inversión de \$ 20 586,00, que se puede recuperar en 10 meses.

4.2 Recomendaciones

En el futuro, debido a que se cuenta con el modelo de simulación elaborado en Flexsim, se recomienda continuar estudiando las restricciones del proceso productivo de la planta de elaboración de alimento balanceado.

Se recomienda a la empresa, continuar con la ejecución de las mejoras administrativas implementadas, para mantener el nivel de producción obtenido como resultado de la aplicación de la teoría de restricciones.

Con base en el trabajo de optimización realizado se recomienda implementar la alternativa sugerida, evaluar sus resultados reales y continuar con el proceso de optimización del sistema.

El corto periodo de recuperación de 10 meses de la inversión a realizarse, permitirá desde el aspecto económico, continuar con el proceso de mejora continua enfocado desde la aplicación de la teoría de restricciones, se sugiere dentro de las posibilidades de la Empresa seguir implementando este proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Acebes L., Alves R., Merino A. y de Prada C. (2004), “un entorno de modelado inteligente y simulación distribuida de plantas de proceso”. URL: https://www.researchgate.net/profile/C_Prada/publication/28141729_Un_Entorno_de_Modelado_Inteligente_y_Simulacin_Distribuida_de_Plantas_de_Proceso/links/5426d05b0cf238c6ea7ab3cc.pdf.
- 2 . Aguilera C., (2000). Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones. *Estudios Gerenciales*, 0(77), 53-70. Recuperado de http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/230
- 3 Beaverstock M. et al, (2014), “Applied simulation, modeling and analysis using Flexsim”, recuperado de www.flexsim.com el 22/12/16.
- 4 Cabrera, D. (2014). Planificación de la producción en una industria de consumo masivo utilizando la teoría de restricciones. (Tesis previa a la obtención del grado de master (Msc.) en Ingeniería Industrial y Productividad no publicada). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- 5 Cadena, D. (2010). Estudio de factibilidad para la creación de una industria de alimentos balanceados en el Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura. (Proyecto previo a la obtención del título

de Ingeniero en Contabilidad y Auditoría CPA no publicada).
Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- 6 Caisachana, M. y Cadena, H. (2014). Implementación de un sistema de gestión para la prevención de riesgos laborales sujetas al régimen del seguro general de riesgos del trabajo (SGRT) - IESS en la empresa avícola Reproavi Cía. Ltda. de la ciudad de Ibarra. (Tesis previa a la obtención del grado de master (Msc.) en seguridad y riesgos no publicada). Universidad de la Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- 7 Calderón, J y Lario, F. (2007). "Simulación de cadenas de suministro: nuevas aplicaciones y áreas de desarrollo". URL: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n1/art18.pdf>.
- 8 Casas, N. (2005). "Teoría de estricciones o cuellos de botella", Revista M&M, edición 49, recuperado de <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev49/administracion.pdf>.
- 9 Castrillón, J. (2008). "La simulación de procesos, clave en la toma de decisiones". Ingeniería e Industria. may2008, Vol. 83 Issue 4, p221-227. 7p. URL: <http://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00127361&AN=31912214&h=icTm5XH6zNC1bZjZ8Aj9Km4NTojlt3mJOBkJEVnaCL%2byDTxEW4W1WLQLB2R0dIsOIZyCgPEXmdjDyKK8jBO6A%3d%3d&crI=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrINotAuth&cr>

lhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26s
cope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d00127361%26
AN%3d31912214.

- 10 Concannon K., et al. (2007). Simulation model with Simul8. Canada, Visual Thingking International.
- 11 Cuatrecasas Arbós, L. (2012). Gestión de la producción: modelos de Lean management. España, Ediciones Días de Santos, (Proquest Ebrary).
- 12 García, J. (2014), "Contabilidad de costos", McGraw Hill/Inter americana editores S.A. de C.V., Ciudad de México, México.
- 13 Goldratt, E. (2005). La meta: Un proceso de mejora continua. España, Ediciones Días de Santos.
- 14 Greenwood, A. y Beaverstock, M. (2011). "Simulation education – seven reasons for change". USA, proceedings of the 2011 winter simulation conference, Mississippi State University.
- 15 Hartmunt, E., (2006), "Theory of Constraints and Application Conditions: From Graphs to High-Level Structures", Journal: Fundamenta Informaticae, vol. 74, no. 1, pp. 135-166, 2006.

- 16 Heredia, J., "La Gestión de la Fábrica", Días de Santos, 2004, Madrid.
- 17 Jiménez, J. (2002). Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico. Obtenido de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt215.pdf>. (Diciembre, 2015).
- 18 Kasemset C., "A review on quality improvement and Theory of Constraints (TOC)," Quality and Reliability (ICQR), 2011 IEEE International Conference on, Bangkok, 2011, pp. 327-330. doi: 10.1109/ICQR.2011.6031735.
- 19 Krajewski L. et al, "Administración de operaciones", 8ava Ed., Pearson Education, México 2008.
- 20 Martínez, R. (2004). Simulación de procesos industriales, beneficios para la empresa. Obtenido de http://www.aepro.com/files/congresos/2004bilbao/ciip04_0284_0291.1235.pdf. (Diciembre, 2015).
- 21 Martínez, V., Alonso P., López J., Salado M.y Rocha J., (2003), "Simulación de procesos en Ingeniería Química", Plaza y Valdés S.A. de C.V., México.

- 22 Master, A., (2012), "Simulación de un proceso industrial mediante el software Flexsim", Universidad de Alicante, España, obtenido de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20587/1/Simulacion de un proceso industrial mediante FlexSim.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20587/1/Simulacion_de_un_proceso_industrial_mediante_FlexSim.pdf) (diciembre 2016).
- 23 Morales J. y Torrealba M., (2011), "formulación de alimentos balanceados para pollos, bovinos de carne y porcinos, considerando diferentes etapas de crecimiento, utilizando materias primas alternativas", UNELLEZ-San Carlos, Cojedes-Venezuela.
- 24 Mula, J., et al., "Models for production planning under uncertainty: a review", CIGIP (Research Centre on Production Management and Engineering), Polytechnic University of Valencia (SPAIN), URL: <http://core.ecu.edu/omgt/krosj/appart2.pdf>
- 25 Mula, J., Poler, R., & García, J. (2006). Evaluación de Sistemas para la Planificación y Control de la Producción/[title] [title language=en]Evaluation of Production Planning and Control Systems. Información tecnológica, 17(1), 19-34. Recuperado en 23 de junio de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000100004&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0718-07642006000100004.

- 26 Núñez A, (2014), "Dirección de operaciones: decisiones tácticas y estratégicas", Editorial UOC, Proquest Ebrary, DOI: f9c100513d49a8871d7fd05ff04100fc.
- 27 Palacios, L. (2011). Dirección Estratégica. Colombia. Eccoediciones.
- 28 Piera M., Guasch T., Casanovas J. y Ramos J., (2006), "Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación", Madrid, ediciones Díaz de Santos.
- 29 Pérez, R., Hernández, A. y Young, D., (2011), "Tutorial de Simulación Básica utilizando Quest®", URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3707506>.
- 30 Q. Er-shi and J. Lin, "Study on the Industries Planning and Decision Method of Integration Economy Function Area," 2007 International Conference on Management Science and Engineering, Harbin, 2007, pp. 1226-1231. doi: 10.1109/ICMSE.2007.4422013.

- 31 Ramírez G., (2014), "Softwares de simulación", recuperado de http://softwaresdesimulacion.blogspot.com/2014_02_01_archive.html el 07/01/2017.
- 32 Ray, A., et al., (2008), "An improved theory of constrains", International Journal of Accounting and Information Management, Vol. 16 No. 2, 2008 pp. 155-165, Emerald Group Publishing Limited, 1834-7649, DOI 10.1108/18347640810913816.
- 33 Ray A., Sarkar B. and Sanya B, "The TOC-Based Algorithm for Solving Multiple Constraint Resources," in IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 57, no. 2, pp. 301-309, May 2010. doi: 10.1109/TEM.2009.2023140.
- 34 Reproavi Cia. Ltda, (2016), "Información de proceso", Ibarra.
- 35 Ross, (2009), "Suplemento de nutrición del pollo de engorde", Cummings Research Park, Alabama 35805, USA.
- 36 Seddari, M. Redjimi and L. Benoudina, "Operational approach for modeling and simulation of an industrial process," Computer Applications Technology (ICCAT), 2013 International Conference on, Sousse, 2013, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICCAT.2013.652203.

- 37 Seung-Hyun, R. et al., "Increasing the efficiency of business processes using a theory of constraints", *Information Systems Frontiers*, September 2010, Volume 12, Issue 4, pp 443-455, DOI 10.1007/s10796-008-9145-9.
- 38 S.A., (2017), "Mil Anuncios", recuperado de: <https://www.milanuncios.com/otros-motor/bascula-ensacadora-sistema-aut-de-pesaje-199067334.htm>
- 39 Sipper, D. y Bulfin Jr. R. (1998). *Planeación y control de la producción*. México. McGraw-Hill Companies, Inc.
- 40 Sproull, B., (2009), "The ultimate improvement cycle", Boca Raton, Taylor and Francis Group.
- 41 T. Hutchin, "The application of the Theory of Constraints to improving manufacturing performance," *Factory 2000 - Advanced Factory Automation*, Fourth International Conference on (Conf. Publ. No. 398), 1994, pp. 53-58. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=644183&isnumber=13842>.
- 42 Thomas E., et al., (2005), "Manufacturing planning and control for supply chain management", Boston, McGraw-Hill/Irwin.

- 43 Thomas P. "Data-driven simulation modelling for production control systems", IESM2013 - Rabat October 28-30, 2013. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6761387>.
- 44 Vidal J., (2006), "Un método general sencillo y eficiente, para la definición y simulación numérica de sistemas multicuerpo", (proyecto de titulación previo a la obtención del título de Master en Ingeniería Industrial no publicado) Escuela superior de ingenieros industriales, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- 45 Vinther J., (2006), "Introducción a la producción de alimentos balanceados", recuperado en 23 de Ago. de 2016 de http://www.los-seibos.com/Teoria_files/Intro.pdf.
- 46 Zhang H. b., "On integrated production model based on TOC," Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), 2010 IEEE 17Th International Conference on, Xiamen, 2010, pp. 784-787.
doi: 10.1109/ICIEEM.2010.5646504.
- 47 Zhao L. D., "Pricing Strategy of Supply Chain System Based on Complexity Analysis and Theory of Constraints," Innovative Computing, Information and Control, 2007. ICICIC '07. Second International Conference on, Kumamoto, 2007, pp. 411-411.
doi: 10.1109/ICICIC.2007.464.

- 48 Zinn R., (2002), "Guía para el mezclado de ingredientes", Universidad de California, recuperado en 20 de Ago. de 2016 de www.produccion-animal.com.ar

ANEXOS

ANEXO I

**PLANO DE IMPLANTACIÓN DE LA FÁBRICA DE ALIMENTOS
BALANCEADOS DE REPROAVI CIA. LTDA.**

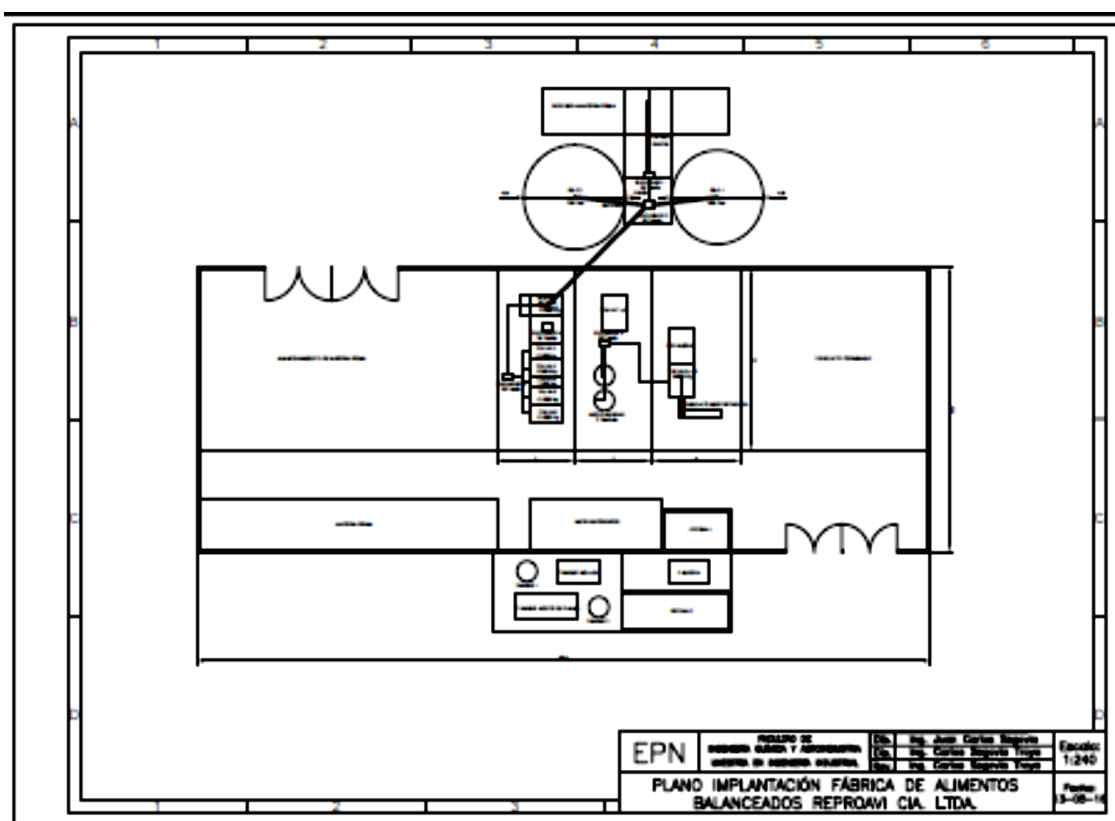


Fig. AI.1 Plano implantación fábrica alimentos balanceados Reproavi Cía. Ltda.

ANEXO II

FOTOS DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO DE LA EMPRESA REPROAVI CIA. LTDA.

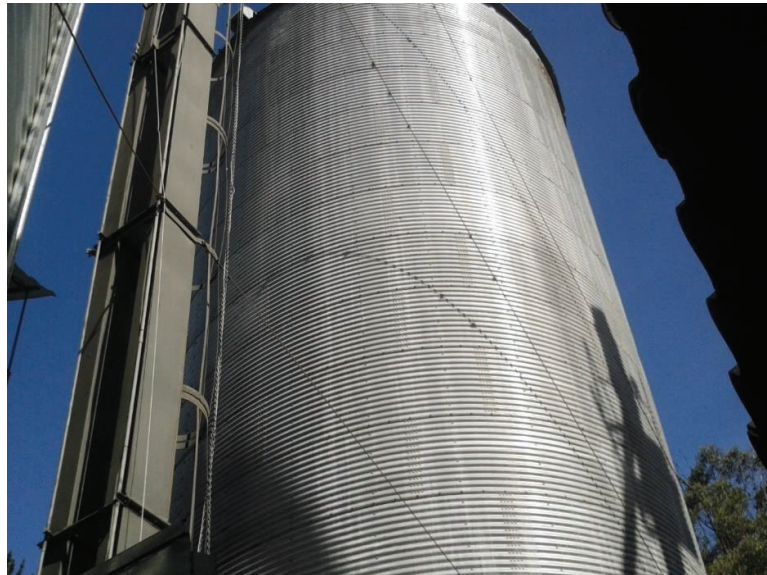


Fig. AII.1 Silo II almacenamiento torta de soya



Fig. AII.2 Silo I almacenamiento de maíz



Fig. AII.3 Molino para maíz y torta de soya



Fig. AII.3 Tolvas Macro ingredientes



Fig. AII.4 Almacenamiento micro ingredientes



Fig. AII.5 Coche balanza micro ingredientes



Fig. AII.6 Mezcladora N. 2



Fig. AII.7 Ensacadora



Fig. AII.7 Ensacadora, cosedora y banda transportadora



Fig. AII.8 Paletizado de sacos de alimento balanceado



Fig. AII.9 Bodega de sacos de alimento balanceado



Fig. AII.10 Tanques de almacenamiento de aceite de soya y melaza