

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DIAGNÓSTICO Y MEJORA DE PROCESOS UTILIZANDO  
SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS EN UNA EMPRESA DE  
CONSUMO MASIVO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

**Franko Rafael Vilchez Marcos**

**ASESOR: Eduardo Carbajal López**

Lima, julio de 2015

## RESUMEN DE TESIS

El trabajo de investigación es una aplicación de simulación de eventos discretos, cuyo objetivo es incrementar la productividad y rentabilidad del proceso de elaboración y envasado de galletas de una empresa de consumo masivo.

En el primer capítulo, se presentan las técnicas de muestreo aleatorio estratificado y diseño de experimentos fraccionados, las cuales se utilizan para analizar los datos de entrada y salida de los modelos de simulación respectivamente; así como también, dos casos de aplicación afines.

En el segundo capítulo, se desarrolla la etapa de descripción y diagnóstico. En ella, utilizando los objetivos estratégicos de la compañía como criterios de evaluación, se elige a la tercera línea de elaboración y envasado de galletas como objeto de estudio. Asimismo, se identifican sus principales problemas, y se plantean y seleccionan las contramedidas adecuadas.

En el tercer capítulo, se presenta la construcción del modelo de simulación base, su validación y la propuesta de mejora. Esta última consiste en diseñar un balance de línea eficiente para el proceso de envasado, utilizar nuevas y constantes velocidades de operación, previamente optimizadas, y sustituir dos operarios encargados de la alimentación manual de galletas de bajo nivel de experticia por unos estables; e invertir en la compra e implementación de dos nuevas envasadoras. De esta manera, se diseñan experimentos fraccionados y simulados con el fin de determinar la significancia de cada medida en la rentabilidad del proceso y sus niveles para maximizarla.

Finalmente, se realiza la evaluación técnica y económica de la propuesta. En la primera, se demuestra que permite reducir el inventario de productos en proceso en 22.99% y 47.38% en el envasado primario y secundario respectivamente, disminuir el nivel de productos no conformes en 11.94%; así como también, evitar las continuas calibraciones y ajustes, y minimizar la

duración y tiempo entre fallas imprevistas de equipos en las estaciones de trabajo donde se reemplazan las envasadoras primarias obsoletas. Mientras que, en la segunda, se comprueba la viabilidad económica del proyecto al obtener una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 29.30% y un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 1, 319,487.51 en un horizonte de cinco años.



*A la memoria de mi querido  
abuelo Fernando Marcos  
Estupiñan.*



## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a quienes dedico todos mis logros, en especial a mi madre Teresa Marcos Mezarina por su constante apoyo en mi vida y desarrollo profesional.

A mi Universidad y a todos quienes la integran por sus enseñanzas durante mi formación académica, en especial a mis profesores, quienes me incentivaron a siempre asumir con éxito retos profesionales.

Al Ing. Eduardo Carbajal López, mi asesor de tesis, por su guía y compromiso con el presente trabajo.

A todos los colaboradores de Galletería Lima, en especial a Ronald García Wong Kit, Héctor García Segovia, Carlos Carrillo García, Joel Wong Paz Soldán, Carlos Monzón Sauñe, Francisco Marín Cachay y Elisa Ludeña Fernández por su confianza e incondicional apoyo.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE FÓRMULAS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO .....	2
1.1 Teoría .....	2
1.1.1 Muestreo aleatorio estratificado .....	2
1.1.2 Diseño de experimento fraccional .....	6
1.2 Revisión de casos .....	10
1.2.1 Primer caso.....	10
1.2.2 Segundo caso.....	14
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO .....	16
2.1 Descripción general de la empresa .....	16
2.1.1 Unidades de negocio .....	17
2.1.2 Perfil organizacional y principios corporativos .....	17
2.1.3 Organización.....	18
2.2 Diagnóstico.....	19
2.2.1 Descripción y mapeo de los procesos.....	19
2.2.2 Selección del proceso a mejorar .....	27
2.2.3 Descripción y mapeo del proceso a mejorar .....	33
2.2.4 Análisis y priorización de problemas .....	39
2.2.5 Determinación y priorización de causas.....	40
2.2.6 Análisis de causas.....	44
2.2.7 Planteamiento de contramedidas .....	46
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA.....	48
3.1 Análisis de datos .....	48
3.1.1 Variable determinística D-1 .....	50
3.1.2 Variable determinística D-2 .....	50
3.1.3 Variable aleatoria V-1 .....	51
3.1.4 Variable determinística D-3 .....	52
3.1.5 Variable aleatoria V-2.....	52
3.1.6 Variable aleatoria V-3.....	53
3.1.7 Variable proporcional P-1 .....	54
3.1.8 Variable proporcional P-2.....	55
3.1.9 Variable aleatoria V-4.....	56
3.1.10 Variable determinística D-4 .....	57
3.1.11 Variable determinística D-5 .....	57
3.1.12 Variable determinística D-6 .....	57
3.1.13 Variable aleatoria V-5.....	58
3.1.14 Variable aleatoria V-6.....	59

3.1.15	Variable aleatoria V-7 .....	60
3.1.16	Variable aleatoria V-8 .....	61
3.1.17	Variable determinística D-7 .....	62
3.1.18	Variable aleatoria V-9 .....	62
3.1.19	Variable determinística D-8 .....	64
3.1.20	Fajas transportadoras.....	67
3.2	Desarrollo del modelo base .....	71
3.2.1	Entidades estáticas .....	71
3.2.2	Entidades dinámicas .....	72
3.2.3	Atributos.....	72
3.2.4	Fallas .....	72
3.2.5	Presunciones .....	73
3.2.6	Descripción del modelo .....	74
3.3	Validación y análisis de resultados .....	85
3.4	Desarrollo de las mejoras propuestas .....	86
3.4.1	Descripción de factores y niveles .....	87
3.4.2	Diseño de experimentos fraccionados y simulados .....	89
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA .....		92
4.1	Evaluación técnica .....	92
4.2	Evaluación económica .....	93
4.2.1	Inversión requerida .....	93
4.2.2	Beneficios económicos .....	95
4.2.3	Flujo de caja .....	95
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		96
5.1	Conclusiones.....	96
5.2	Recomendaciones .....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Diseño factorial $2^3$ .....	8
Tabla 1.2 Diseño factorial $2^{3+1}$ con $C=\pm AB$ como generador de diseño .....	9
Tabla 1.3 Análisis de varianza (ANOVA) .....	9
Tabla 1.4 Descripción de los factores y sus niveles .....	12
Tabla 1.5 Análisis estadístico de los factores e interacciones.....	13
Tabla 2.1 Descripción de Macroprocesos.....	22
Tabla 2.2 Descripción de los principales procesos de manufactura .....	24
Tabla 2.3 Criterios y factores de valoración de objetivos estratégicos.....	28
Tabla 2.4 Evaluación del tercer objetivo estratégico .....	29
Tabla 2.5 Evaluación del quinto objetivo estratégico.....	29
Tabla 2.6 Evaluación del noveno objetivo estratégico.....	30
Tabla 2.7 Evaluación del décimo objetivo estratégico.....	31
Tabla 2.8 Evaluación del doceavo objetivo estratégico .....	32
Tabla 2.9 Evaluación del treceavo objetivo estratégico.....	32
Tabla 2.10 Selección del proceso a mejorar.....	33
Tabla 2.11 Valorización de problemas.....	39
Tabla 2.12 Matriz de priorización de causas .....	43
Tabla 2.13 Criterios y factores de ponderación FACTIS .....	47
Tabla 2.14 Ranking de Factores .....	47
Tabla 3.1 Variables para modelamiento .....	49
Tabla 3.2 Variable determinística D-2.....	50
Tabla 3.3 Variable aleatoria V-1 .....	51
Tabla 3.4 Distribuciones de probabilidad V-1 .....	51
Tabla 3.5 Variable determinística D-3.....	52
Tabla 3.6 Variable aleatoria V-2 .....	53
Tabla 3.7 Distribuciones de probabilidad para la variable V-2 .....	53
Tabla 3.8 Juicio de expertos para la variable V-3.....	54
Tabla 3.9 Cantidad de productos no conformes debido a mala alimentación.....	54
Tabla 3.10 Juicio de expertos para la variable P-1.....	55
Tabla 3.11 Fracciones de galletas y paquetes mal alimentados .....	55
Tabla 3.12 Juicio de expertos para la variables V-4.....	56
Tabla 3.13 Duración de fallas por la mala alimentación de productos .....	57
Tabla 3.14 Juicio de expertos para la variable D-6 .....	58
Tabla 3.15 Evaluación de distribuciones de probabilidad para la variable V-5 .....	59
Tabla 3.16 Distribuciones empíricas para la variable V-5 .....	59
Tabla 3.17 Distribuciones de probabilidad para la variable V-6 .....	60
Tabla 3.18 Distribuciones empíricas para la variable V-6 .....	60
Tabla 3.19 Variable aleatoria V-7 .....	60
Tabla 3.20 Distribuciones de probabilidad para la variable V-7 .....	61
Tabla 3.21 Distribuciones empíricas para la variable V-7 .....	61

Tabla 3.22 Variable aleatoria V-8 .....	62
Tabla 3.23 Distribuciones de probabilidad para la variable V-8 .....	62
Tabla 3.24 Variable determinística D-7.....	62
Tabla 3.25 Variable aleatoria V-9 .....	63
Tabla 3.26 Distribuciones de probabilidad para la variable V-9 .....	63
Tabla 3.27 Distribuciones empíricas para la variable V-9 .....	63
Tabla 3.28 Distribuciones de probabilidad para la variable D-8 .....	64
Tabla 3.29 Distribuciones empíricas para la variable D-8 .....	64
Tabla 3.30 Resultados del análisis de datos de variables aleatorias .....	65
Tabla 3.31 Resultados del análisis de datos de variables proporcionales .....	66
Tabla 3.32 Resultados del análisis de datos de variables determinísticas .....	66
Tabla 3.33 Velocidades de fajas de descarga .....	68
Tabla 3.34 Tiempos de transporte de fajas inclinadas y aéreas .....	68
Tabla 3.35 Especificaciones técnicas de las fajas transportadoras .....	70
Tabla 3.36 Recursos del modelo .....	71
Tabla 3.37 Atributos presentes en el modelo .....	72
Tabla 3.38 Fallas imprevistas de equipos.....	72
Tabla 3.39 Análisis del modelo base .....	85
Tabla 3.40 Recursos del modelo .....	87
Tabla 3.41 Intervalos de variación para los controles .....	88
Tabla 3.42 Resultados del proceso de optimización .....	88
Tabla 3.43 Factores y niveles del diseño experimental.....	89
Tabla 3.44 Diseño de experimentos planteado .....	89
Tabla 3.45 Análisis de varianza del diseño planteado.....	90
Tabla 4.1 Variación del inventario de productos en proceso.....	92
Tabla 4.2 Variación de la cantidad de productos no conformes.....	93
Tabla 4.3 Costo de importación .....	94
Tabla 4.4 Inversión requerida detallada.....	94
Tabla 4.5 Estimación de beneficios económicos.....	95
Tabla 4.6 Flujo de caja del proyecto .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Orden creciente de los escenarios según VAN.....	13
Figura 2.1 Ventas consolidadas de ABC S.A.C.....	16
Figura 2.2 Ventas local, internacional y por negocio de ABC S.A.C.....	17
Figura 2.3 Matriz organizacional de ABC S.A.C.....	18
Figura 2.4 Mapa Estratégico de ABC S.A.C.....	20
Figura 2.5 Mapa de macroprocesos .....	21
Figura 2.6 Mapa de procesos de manufactura .....	23
Figura 2.7 Líneas de elaboración y envasado de galletas .....	25
Figura 2.8 Interacciones entre las líneas de producción .....	27
Figura 2.9 Evaluación del segundo objetivo estratégico .....	29
Figura 2.10 Evaluación del octavo objetivo estratégico.....	30
Figura 2.11 Evolución de productos no conformes por procesos.....	31
Figura 2.12 Evolución del OEE por procesos .....	32
Figura 2.13 Diagrama de bloques del proceso a mejorar.....	34
Figura 2.14 Alimentación de insumos mayores a batidora .....	35
Figura 2.15 Moldeado rotativo .....	35
Figura 2.16 Temperaturas del horno .....	36
Figura 2.17 Cremado de galletas.....	37
Figura 2.18 Distribución de personal .....	38
Figura 2.19 Diagrama de Pareto para la priorización de problemas .....	40
Figura 2.20 Diagrama Ishikawa del primer problema .....	41
Figura 2.21 Diagrama Ishikawa del segundo problema .....	41
Figura 2.22 Diagrama Ishikawa del tercer problema .....	42
Figura 2.23 Diagrama Ishikawa del cuarto problema .....	42
Figura 2.24 Aplicación de Cinco Por qué a la primera causa .....	44
Figura 2.25 Aplicación de Cinco Por qué a la segunda causa .....	45
Figura 2.26 Aplicación de Cinco Por qué a la tercera causa .....	45
Figura 3.1 Fajas transportadoras en la tercera línea de envasado .....	69
Figura 3.2 Modelamiento del ingreso de galletas – Envasadora C8 .....	75
Figura 3.3 Modelamiento del ingreso de galletas – Vía central.....	75
Figura 3.4 Modelamiento de la alimentación manual de galletas – Envasadora C8.....	76
Figura 3.5 Modelamiento del envasado primario – Envasadora C8.....	78
Figura 3.6 Modelamiento del transporte a la envasadora C10.....	78
Figura 3.7 Modelamiento de la alimentación manual de paquetes – Envasadora C10 .....	79
Figura 3.8 Modelamiento del ingreso de paquetes – Envasadora C10.....	79
Figura 3.9 Modelamiento del ingreso de paquetes – Envasadora A3.....	80
Figura 3.10 Modelamiento del envasado secundario – Envasadora C10 .....	81
Figura 3.11 Modelamiento de la estación de encajado C10.....	83
Figura 3.12 Modelamiento del encintado C10 .....	83
Figura 3.13 Modelamiento del encintado A3 .....	83

Figura 3.14 Modelamiento del transporte al área de paletizado C10 .....	84
Figura 3.15 Modelamiento del transporte al área de paletizado A3 .....	84
Figura 3.16 Modelamiento del paletizado C10 .....	84
Figura 3.17 Prueba de hipótesis para validación.....	86
Figura 3.18 Gráfica de contorno de la función utilidad .....	90
Figura 3.19 Gráfica de interacciones para la función utilidad.....	91
Figura 3.20 Gráfica de cubos para la función utilidad .....	91



## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1.1 Límite B para el error de estimación.....	4
Fórmula 1.2 Tamaño de muestra y su asignación a estratos.....	4
Fórmula 1.3 Tamaño y asignación de muestras con costos desconocidos .....	4
Fórmula 1.4 Estimación e intervalo de confianza para la media poblacional.....	5
Fórmula 1.5 Tamaño de muestra a distribuir para estimar proporciones .....	5
Fórmula 1.6 Estimación e intervalo de confianza para la proporción poblacional.....	6
Fórmula 1.7 Cálculo del efecto del factor X.....	8
Fórmula 1.8 Combinaciones lineales para estimar los efectos en diseño $2^3$ .....	8
Fórmula 1.9 Construcción de la tabla ANOVA.....	10
Fórmula 3.1 Velocidades de envasado compuestas .....	67
Fórmula 3.2 Cálculo de h para el promedio de la variable .....	85



## INTRODUCCIÓN

La demanda nacional e internacional de productos de consumo masivo crece sosteniblemente motivando a las empresas de este rubro a innovar y mejorar sus procesos. Solo en el Perú, la industria alimentaria reporta un incremento interanual de 8% en los últimos cinco años y las ventas del sector aumentaron 12.2% respecto al 2011; mientras que, a nivel internacional, las exportaciones de alimentos se valorizaron en US\$ 5.135 millones en el 2012 (AméricaEconomía, 2013)<sup>1</sup>. Asimismo, cabe mencionar que el consumo per cápita de galletas muestra un importante crecimiento de 1.7 kg. (INEI, 2009)<sup>2</sup> a 3.3 kg (AméricaEconomía, 2012)<sup>3</sup> en solo 4 años.

ABC S.A.C. es una empresa del sector manufacturero de productos alimenticios con tres unidades de negocio: productos industriales, nutrición animal y consumo masivo, en la que destaca la elaboración y envasado de más de 20 marcas de galletas. Sin embargo, la acumulación de productos en proceso, la mala calibración y ajustes continuos de las envasadoras, los altos niveles de productos no conformes, y las fallas imprevistas de equipos, problemas cuyos efectos se valorizan en US\$ 1.37 MM al año, son limitantes para el mejoramiento de la productividad y rentabilidad del proceso. Por ello, dado el crecimiento del sector y de la demanda de galletas, urge mejorar la eficiencia del proceso productivo para que eleve sus niveles de producción manteniendo los estándares internacionales de calidad y competitividad.

En este contexto, el trabajo de investigación que se presenta desarrolla un caso de aplicación de simulación de eventos discretos apoyado en muestreo aleatorio estratificado y diseño de experimentos fraccionados para incrementar la productividad y rentabilidad del proceso de elaboración y envasado de galletas.

---

<sup>1</sup> AméricaEconomía. (2013). Rankings América Economía. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de [http://rankings.americaeconomia.com/2013/ranking\\_500\\_peru\\_2013/sector\\_alimentos.php](http://rankings.americaeconomia.com/2013/ranking_500_peru_2013/sector_alimentos.php)

<sup>2</sup> INEI, I. N. (2009). Consumo de Alimentos y Bebidas.

<sup>3</sup> AméricaEconomía. (2012). *Rankings América Economía*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de Rankings América Economía: <http://rankings.americaeconomia.com/2012/las-500-mayores-empresas-de-peru/sector-alimentos.php>

## CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

En este primer capítulo, se presentará el marco de referencia conceptual necesario para el desarrollo del trabajo de investigación. La primera parte consiste en la descripción de dos técnicas ajenas a la simulación de sistemas que se utilizarán: muestreo aleatorio estratificado y diseño de experimentos fraccionados. Mientras que, en la segunda parte, se realizará una revisión de casos de aplicación de la simulación de sistemas en contextos afines al del presente trabajo.

### 1.1 Teoría

Para alcanzar una adecuada modelación de un sistema real y una correcta evaluación de estrategias para mejorar su funcionamiento, se utilizará el muestreo aleatorio estratificado para el análisis de datos de entrada y el diseño de experimentos fraccionados para los de salida.

#### 1.1.1 Muestreo aleatorio estratificado

La inferencia estadística es el proceso que consiste en inferir resultados de la población aplicando la información obtenida de la muestra, parte representativa de la población seleccionada aleatoriamente de acuerdo a una regla o plan (Córdova Zamora, 2003), y su confiabilidad depende en gran medida de la técnica de muestreo elegida para realizar el estudio. Para poblaciones en las que se reconocen subgrupos excluyentes, el muestreo aleatorio estratificado es el método indicado para minimizar los errores de estimación de medias y totales poblacionales, y proporciones.

Una muestra aleatoria estratificada es la obtenida mediante la separación de los elementos de una población en estratos y la selección posterior de una muestra irrestricta aleatoria simple de cada estrato (L. Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 1986). De esta manera, este método consiste en la definición de los estratos que aseguren la independencia de las muestras para luego determinar los tamaños de las mismas y analizarlas para,

posteriormente, concentrar la información proveniente de cada estrato con el fin de obtener estimaciones globales de la población.

Las principales ventajas de utilizar este tipo de muestreo son la protección que ofrece contra la posibilidad de elegir una muestra no representativa de toda la población, la generación de información específica sobre los estratos, la reducción de la varianza y la potencial disminución de costos de muestreo (Lohr, 2000):

- Si la población está compuesta por estratos, un muestreo simple no asegura que las muestras extraídas contengan elementos de los diferentes estratos en cantidades proporcionales que aseguren la representatividad.
- Debido a la propiedad excluyente de los estratos, se puede estimar parámetros poblacionales de cada uno de ellos.
- El alto grado de homogenización interna de las muestras, la menor varianza de los estratos en comparación con la de la población en la mayoría de los casos, resulta en menores errores de estimación general en comparación con el uso de muestras irrestrictas del mismo tamaño.
- La estratificación ofrece la posibilidad de administrar los esquemas de muestreo y la toma de muestras de manera diferenciada para cada estrato con miras a la reducción de los costos de observación.

El muestreo estratificado inicia con la definición de los estratos excluyentes basada en los atributos críticos de las unidades de muestreo. A continuación, se realizan muestreos aleatorios simples considerando y sin considerar la estratificación para validar su uso, la varianza en los estratos debe ser significativamente menor que en la población y la suma de cuadrados entre los estratos debe ser grande; estimar la varianza de cada estrato; y poder establecer los costos para obtener una observación individual en cada estrato. Luego, se procede a calcular los tamaños de muestra y asignarlos a cada estrato. Para la estimación de medias, totales y proporciones poblacionales, se requiere conocer los tamaños de las poblaciones, establecer un límite para el error de estimación y la información resultante del procedimiento de muestreo previo.

De esta manera, el límite del error de estimación se utiliza en la primera y segunda fórmula de la fórmula 1.1 para la estimación de medias y totales poblacionales respectivamente; donde  $B$  es el límite para el error de estimación en unidades,  $N_h$  y  $n_h$  son los tamaños de la población y muestra del  $h$ -ésimo estrato respectivamente, y  $N$  es la suma de los tamaños de las poblaciones de los estratos.

$$D = \frac{B^2}{4} \quad B = 2 \sqrt{\frac{1}{N^2} * \sum_{h=1}^L N_h^2 \left(\frac{N_h - n_h}{N_h}\right) \left(\frac{s_h^2}{n_h}\right)}$$

$$D = \frac{B^2}{4N^2}$$

Fórmula 1.1 Límite B para el error de estimación  
Fuente: L. Scheaffer, Mendenhall, & Ott. Elementos de muestreo (1986)

Después, se calcula el tamaño de muestra y distribuye entre los estratos con la primera y segunda fórmula de la fórmula 1.2 respectivamente; donde  $\sigma_h$  es la desviación estándar de la población,  $L$  es el número de estratos y  $c_h$  es el costo para obtener una observación individual del  $h$ -ésimo estrato.

Asimismo, si los costos para obtener una observación individual del  $h$ -ésimo estrato son iguales o desconocidos, se propone utilizar las fórmulas de la fórmula 1.3.

$$n = \frac{\left(\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h / \sqrt{c_h}\right) * \left(\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h \sqrt{c_h}\right)}{N^2 D + \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2} \quad n_h = n \left( \frac{N_h \sigma_h / \sqrt{c_h}}{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h / \sqrt{c_h}} \right)$$

Fórmula 1.2 Tamaño de muestra y su asignación a estratos  
Fuente: L. Scheaffer, Mendenhall, & Ott. Elementos de muestreo (1986)

$$n = \frac{\left(\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h\right)^2}{N^2 D + \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2} \quad n_h = n \left( \frac{N_h \sigma_h}{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h} \right)$$

Fórmula 1.3 Tamaño y asignación de muestras con costos desconocidos  
Fuente: L. Scheaffer, Mendenhall, & Ott. Elementos de muestreo (1986)

Finalmente, si los tamaños de las muestras dentro de cada estrato son grandes o el diseño del muestreo tiene gran cantidad de estratos, se calcula el intervalo de confianza aproximado del  $100(1-\alpha)\%$  para la estimación de la media poblacional utilizando el percentil de la distribución normal (Lohr, 2000), con las fórmulas presentadas en la fórmula 1.4; donde  $s_h$  es la desviación estándar muestral del h-ésimo estrato y  $\bar{y}_h$  es la media reportada en el estrato h-ésimo estrato.

$$IC : \bar{y}_{est} \pm z_{\alpha/2} EE(\bar{y}_{est})$$

$$\bar{y}_{est} = \sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h$$

$$EE(\bar{y}_{est}) = \sum_{h=1}^L \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) N_h^2 \frac{s_h^2}{n_h}$$

Fórmula 1.4 Estimación e intervalo de confianza para la media poblacional  
Fuente: S. Lohr. Muestreo: Diseño y Análisis (2000)

De manera similar, para estimar proporciones, después del procedimiento de muestreo inicial, se procede a calcular los tamaños de muestra y asignarlos a cada estrato. A continuación, se presenta la secuencia de fórmulas del método, cuya nomenclatura es afín a la antes expuesta; donde  $p_h$  y  $q_h$  son las proporciones presentes en el h-ésimo estrato y  $w_h$  es la fracción de observaciones asignadas a dicho estrato; ver fórmula 1.5.

Además, si los costos del muestreo son indiferentes al estrato o se desconocen, se suprimen de la fórmula.

$$B = 2 \sqrt{\frac{1}{N^2} * \sum_{h=1}^L N_h^2 \left(\frac{N_h - n_h}{N_h}\right) \left(\frac{p_h q_h}{n_h - 1}\right)} \quad D = \frac{B^2}{4}$$

$$n = \frac{\sum_{h=1}^L N_h^2 p_h q_h / w_h}{N^2 D + \sum_{h=1}^L N_h p_h q_h} \quad n_h = n \left( \frac{N_h \sqrt{p_h q_h / c_h}}{\sum_{h=1}^L N_h \sqrt{p_h q_h / c_h}} \right) = n * w_h$$

Fórmula 1.5 Tamaño de muestra a distribuir para estimar proporciones  
Fuente: L. Scheaffer, Mendenhall, & Ott. Elementos de muestreo (1986)

Terminando, se calcula la proporción poblacional estimada y el error de estimación con las fórmulas de la fórmula 1.6; donde  $\bar{P}_h$  es la proporción reportada en el estrato h-ésimo estrato.

$$IC : N * \bar{P}_{est} \pm N * EE(\bar{P}_{est})$$

$$\bar{P}_{est} = \sum_{h=1}^L \frac{N_h}{N} \bar{P}_h$$

$$EE(\bar{P}_{est}) = \sqrt{\sum_{h=1}^L \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \left(\frac{N_h}{N}\right)^2 \frac{\bar{P}_h(1 - \bar{P}_h)}{n_h - 1}}$$

Fórmula 1.6 Estimación e intervalo de confianza para la proporción poblacional  
Fuente: S. Lohr. Muestreo: Diseño y Análisis (2000)

### 1.1.2 Diseño de experimento fraccional

Los diseños experimentales y sus variantes se utilizan en el diseño y mejora de procesos donde intervienen varias variables. Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios intencionales en las variables de entrada de un proceso con el fin de identificar los cambios correspondientes en la variable de salida. (Montgomery, Control estadístico de la calidad, 2011)

Una de sus variantes son los diseños factoriales fraccionados que se utilizan para obtener la información deseada con menor esfuerzo experimental si se puede suponer que ciertas interacciones de factores de órdenes superiores son depreciables. Debido a que el número de corridas que se requiere en un experimento se incrementa considerablemente si el número de factores ( $k$ ) aumenta, esta técnica plantea el fraccionamiento del diseño de experimento y la utilización de generadores de diseño para la construcción del mismo considerando la jerarquía en la importancia que tienen los efectos principales, las interacciones de dos factores, las interacciones de tres factores y así sucesivamente.

El uso exitoso de los diseños factoriales fraccionados se basa en el principio de efectos esparcidos o escasez de efectos, es posible que el sistema o proceso este dominado principalmente por solo algunos efectos principales y

las interacciones de orden inferior; en la propiedad de proyección, este tipo de diseños pueden proyectarse en diseños más grandes en el subconjunto de los factores significativos; y en la experimentación secuencial, se puede combinar varios diseños factoriales fraccionados para ensamblar secuencialmente un diseño más grande. (Montgomery, 2002)

El fraccionamiento del diseño experimental o diseño de experimentos fraccionados consiste en escoger un bloque del total de combinaciones de todos los factores, cuidando de que los niveles de todos los tratamientos tengan el mismo nivel de presencia. Así, por ejemplo, si tenemos un diseño con  $k$  factores de dos niveles, el número de corridas puede reducirse  $50\%p$  al utilizar un diseño  $2^{k-p}$ , donde  $p$  es el número de tratamientos de los que se prescinde y su valor depende únicamente del número de factores y la información histórica.

Por otro lado, un experimento puede tener diversos grados de resolución, siendo de resolución  $R$  cuando ningún efecto del factor  $p$  es alias<sup>4</sup> de otro efecto que contiene menos de  $R-p$  factores (Montgomery, Diseño y análisis de Experimentos, 2002). Así, por ejemplo, para resoluciones III, IV y V tenemos; en el primero, el diseño no confunde los efectos principales entre sí, pero con las interacciones de dos factores sí; en el segundo, no confunde los efectos principales con las interacciones de dos factores, pero si a las interacciones de dos factores entre sí; y, en el último caso, no confunde los efectos principales con las interacciones de dos factores entre sí, pero confunde las interacciones de dos factores con las de tres, etc. (Box, Hunter, & Hunter, 1999).

Para la construcción del diseño factorial fraccionario  $2^{k-p}$  se requiere seleccionar un generador de diseño que asegure la resolución más alta posible considerando el grado de fraccionamiento elegido ( $p$ ). D. Montgomery, en su libro “Diseño y análisis de Experimentos”, presenta los generadores sugeridos para que resulten los diseños  $2^{k-p}$  con las resoluciones más altas posibles. Por ejemplo, para un diseño de

---

<sup>4</sup> Dos factores son alias cuando las estimaciones de sus efectos son imposibles de diferenciarse.

experimentos con tres factores, se propone una fracción  $2_{III}^{3-1}$  con  $C=\pm AB$  como generador de diseño.

Para el ejemplo antes mencionado, se justifica el uso de  $C=\pm AB$  como generador de diseño debido a la confusión al diferenciar las estimaciones de los efectos principales  $A$ ,  $B$  y  $C$  con las de las interacciones de dos factores  $BC$ ,  $AC$  y  $AB$  respectivamente, comprobada al utilizar la fórmula de la fórmula 1.7 para el cálculo del efecto del factor  $X$ ; donde  $n$  es el número de réplicas,  $k$  es el número de factores,  $X^+$  es la suma de los resultados en los tratamientos en los que el factor  $X$  se encuentra en nivel alto y  $X^-$  es la suma de los resultados en los tratamientos en los que el factor  $X$  se encuentra en nivel bajo.

$$Efecto_X = \frac{X^+ - X^-}{n2^{(k-1)-1}}$$

Fórmula 1.7 Cálculo del efecto del factor X  
Fuente: D. Montgomery (2011)

En la tabla 1.1 y en la fórmula 1.8, se presenta el diseño factorial  $2^3$  y las combinaciones lineales para la estimación de los efectos que muestran la confusión antes expuesta.

Tabla 1.1 Diseño factorial  $2^3$

COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS	EFECTO FACTORIAL							
	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
<i>a</i>	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>b</i>	+	-	+	-	-	+	-	+
<i>c</i>	+	-	-	+	+	-	-	+
<i>abc</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>ab</i>	+	+	+	-	+	-	-	-
<i>ac</i>	+	+	-	+	-	+	-	-
<i>bc</i>	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

Fuente: D. Montgomery (2002)

$$\begin{aligned} \ell_A &= \frac{1}{2}(a - b - c + abc) \leftrightarrow \ell_{AB} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc) \\ \ell_B &= \frac{1}{2}(-a + b - c + abc) \leftrightarrow \ell_{AC} = \frac{1}{2}(-a + b - c + abc) \\ \ell_C &= \frac{1}{2}(-a - b + c + abc) \leftrightarrow \ell_{BC} = \frac{1}{2}(-a - b + c + abc) \end{aligned}$$

Fórmula 1.8 Combinaciones lineales para estimar los efectos en diseño  $2^3$   
Fuente: D. Montgomery (2002)

La construcción de un diseño factorial fraccionario varía de acuerdo al número de factores, pues el grado de fraccionamiento y la resolución se determinan a partir de él; y como consecuencia, el generador de diseño a utilizar también. Es decir que, para un diseño de tres factores de dos niveles con un grado de fraccionamiento ( $p$ ) de 1 se utiliza un generador de diseño  $C=\pm AB$  para maximizar la resolución III como se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Diseño factorial  $2^{3-1}_{III}$  con  $C=\pm AB$  como generador de diseño

CORRIDA	COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS	EFECTO FACTORIAL		
		A	B	I=ABC C=AB
1	C	-	-	+
2	A	+	-	-
3	B	-	+	-
4	Abc	+	+	+

Fuente: D. Montgomery (2002)

Posteriormente, se realiza un análisis de varianza (ANOVA) para que mediante pruebas F de Fisher se valide la significancia de las fuentes de variación seleccionadas, factores principales y/o interacciones.

Tabla 1.3 Análisis de varianza (ANOVA)

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER
A	a-1	$SS_A$	$MS_A$	$MS_A / MS_E$
B	b-1	$SS_B$	$MS_B$	$MS_B / MS_E$
C	c-1	$SS_C$	$MS_C$	$MS_C / MS_E$
$i$	$i-1$	$SS_i$	$MS_i$	$MS_i / MS_E$
Error	g.l. error	$SS_E$	$MS_E$	
Total	abcn-1	$SS_T$		

Fuente: D. Montgomery (2002)

En la tabla 1.3, se muestra la estructura del análisis de varianza; donde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $i$  son el número de niveles de cada factor; y  $SS_i$ ,  $MS_i$ ,  $SS_T$ ,  $SS_E$  y  $MS_E$  se calculan como muestra la fórmula 1.9; donde  $n$  es el número de réplicas,  $k$  es el número de factores al que se le debe restar el nivel de fraccionamiento ( $p$ ), y es cada uno de los resultados de todos los tratamientos,  $A^+$  es la suma de los resultados en los tratamientos en los que el factor  $A$  se encuentra en nivel alto y  $A^-$  es la suma de los resultados en los tratamientos en los que el factor  $A$  se encuentra en nivel bajo.

$$SS_A = \frac{(A^+ - A^-)^2}{n2^k}$$

$$SS_T = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n2^k}$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C \dots - SS_i$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{g.l.A}$$

$$MS_E = \frac{SS_e}{g.l.error}$$

$$g.l.error = (abcn - 1) - (g.l.A + g.l.B + .. + g.l.i)$$

Fórmula 1.9 Construcción de la tabla ANOVA  
Fuente: D. Montgomery (2011)

Finalmente, se realiza la prueba Fisher con dos hipótesis para evaluar la significancia de cada factor: “ $H_0$ : El factor  $i$ -ésimo no influye en la respuesta” y “ $H_1$ : El factor  $i$ -ésimo sí influye en la respuesta”. Si el  $F_{calculado}$  de la tabla ANOVA es mayor que el valor de  $F_{tabla} = F_{(\alpha, g.l.factor, g.l.error)}$ ; entonces, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se concluye que el factor  $i$ -ésimo es relevante.

## 1.2 Revisión de casos

Para la documentación de casos de aplicación de la simulación de sistemas en contextos afines se consideran dos artículos especializados: “*Economic evaluation of the increase in production capacity of a high technology products manufacturing cell using discrete event simulation*” de Barra, J.; Da Silva, Rafael; Leal, Fabiano; Ferreira, Alexander; y Tadeu, José y “*Identifying cost reduction and performance improvement opportunities through simulation*” de Brown, J. Ethan y Sturrock, David. Ambos presentes en las actas de la *2009 Winter Simulation Conference*.

### 1.2.1 Primer caso

El primer artículo presenta una aplicación del modelado de sistemas, simulación computacional y diseño de experimentos simulados en la evaluación económica de los escenarios industriales en Padtec S/A,

empresa brasileña que fabrica productos de alta tecnología especializada en la multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

El objetivo de este trabajo de investigación es la aplicación de la simulación de eventos discretos para evaluar económicamente los escenarios que se presentan al variar la capacidad de producción de una celda de manufactura cuyo producto representa el 40% de los ingresos de la empresa. El uso de esta herramienta se sustenta en que los modelos de simulación consideran la aleatoriedad presente en el proceso de fabricación y la evolución del sistema en el tiempo; así como también, pueden proporcionar la cantidad de producción a considerar en el cálculo del flujo neto de efectivo. Asimismo, la investigación utiliza el diseño de experimentos para seleccionar los escenarios más relevantes antes de iniciar el análisis económico.

Primero, se desarrolló el modelo conceptual del sistema productivo utilizando un diagrama *Supplier, Inputs, Process, Outputs and Customers* (SIPOC), un diagrama *Integration Definition* (IDEF) y un diagrama de flujo. Este último, fue validado por los especialistas en el proceso de la empresa.

El proceso productivo inicia con la organización de la materia prima. Luego, la tarjeta de circuito impreso (PCB) es actualizada, se ensamblan componentes faltantes, y recibe los componentes del *transponder* para poder ser configurada. Si la configuración es correcta, el proceso continua con la operación de acabado; caso contrario, se trata de reparar; y en caso el problema persista, se devuelve la PCB al proveedor. En la celda, solo trabajan dos operarios.

A continuación, se transformó el modelo conceptual en uno computacional mediante programación en el simulador Promodel, el cual fue alimentado por las distribuciones de probabilidad de los tiempos de producción previamente recopilados y tratados estadísticamente. Además, se utilizó la herramienta de depuración del *software* y se simuló las variables determinísticas en un inicio para la mejorar la construcción del modelo.

Luego, los especialistas en el proceso verificaron el modelo computacional por medio de la animación gráfica; mientras que para su validación, se utilizó el *software* Minitab para realizar pruebas estadísticas con los resultados de la simulación, ejecutada durante dieciocho semanas con diez réplicas cada una, y la producción histórica del proceso, registrada en el sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) de la compañía. Se inició con una prueba de normalidad donde se verificó que el comportamiento de ambos conjuntos de datos respondía a una distribución normal. Asimismo, se realizó una prueba F de Fisher que comprobó que las dos poblaciones no tenían varianzas iguales; y, se finalizó con una prueba t de Student para dos muestras independientes, donde se concluyó que las diferencias entre las salidas del modelo y el sistema real no eran significativas con un nivel de confianza de 95%.

Dada la verificación y validación antes expuesta, se habilitó al modelo de simulación construido para recibir experimentos diseñados. Se definió evaluar el efecto principal de seis factores en los volúmenes de producción mensual de la celda de manufactura. Al tener dos niveles cada uno de estos factores, como se muestra en la tabla 1.4, se generaron sesenta y cuatro escenarios a simular de diez repeticiones.

Tabla 1.4 Descripción de los factores y sus niveles

SYMBOL	FACTORS	LOW LEVEL	HIGH LEVEL
A	Quantity of workbench without equipment	1	3
B	Quantity of operators for shift	2	5
C	Quantity of workbench with equipment	1	3
D	Organization activity performed by operators of the cell	Yes	No
E	Project update activity present in the process	Yes	No
F	Quantity of shifts	1	2

Fuente: Barra, Da Silva, Leal, Ferreira y Tadeu (2009)

El análisis estadístico inicia con la evaluación de la significancia de los factores y sus interacciones, donde las interacciones de cinco y seis factores se pueden descartar por reportar p-valores mayores a 0.05, nivel de significancia; ver tabla 1.5.

Tabla 1.5 Análisis estadístico de los factores e interacciones

SOURCE OF VARIATION	DEGREES OF FREEDOM	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	Fo	p-value
Main Effects	6	58118912	9686485	56874.68	0.000
2-Way Interactions	15	6215291	414353	2432.89	0.000
3-Way Interactions	20	988355	49418	290.16	0.000
4-Way Interactions	15	70780	4719	27.71	0.000
5-Way Interactions	6	2142	457	2.1	0.052
6-Way Interactions	1	158	158	0.93	0.335
Residual Error	562	95716	170		
Total	625	95279256			

Fuente: Barra, Da Silva, Leal, Ferreira y Tadeu (2009)

Después, se construye un diagrama de Pareto con los efectos principales y las interacciones a considerar. En él, se evalúa la significancia de todos con un nivel de confianza de 95%; y se resalta la importancia de los efectos *BF*, *BC* y *CE*, lo cual exige analizar las interacciones de segundo orden.

Para la evaluación económica se construyeron flujos de caja durante doce meses y se calculó el Valor Actual Neto (VAN) de los dieciocho escenarios más relevantes considerando los volúmenes de producción resultantes de la simulación, una tasa de interés de 1.46% mensual, costos de transporte, costos de materiales, costos de mano de obra, depreciación de los equipos, entre otros. De esta manera, se concluyó que el mejor escenario es el número dieciocho por reportar el VAN más alto; además, la información generada es útil si se desea comparar escenarios y tomar de decisiones. Ver figura 1.1.

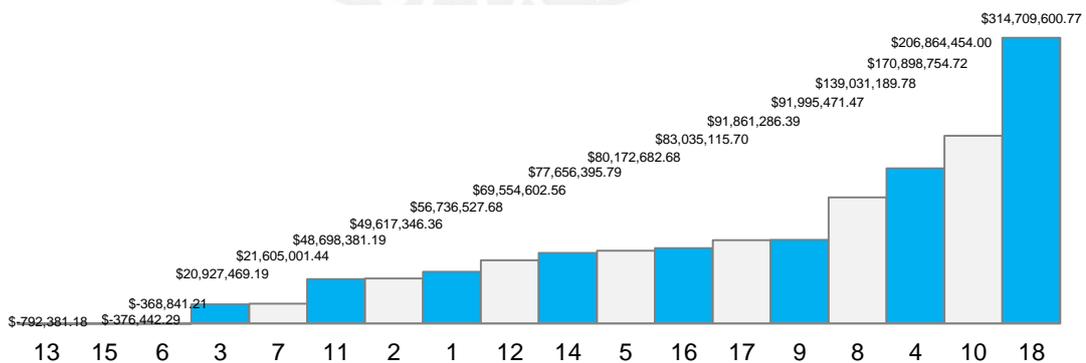


Figura 1.1 Orden creciente de los escenarios según VAN  
Fuente: Barra, Da Silva, Leal, Ferreira y Tadeu (2009)

### 1.2.2 Segundo caso

En el segundo artículo, se presenta cómo Deloitte Consulting asociada con Simio LLC modeló cuatro oportunidades de mejora para el proceso de ensamblado de evaporadores de un fabricante de *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) de forma independiente y conjunta donde se determinó que existía una potencial mejora del rendimiento y reducción del Trabajo en Proceso (WIP) en 41% y 36% respectivamente.

El proceso productivo modelado ensambla evaporadores cuyo tamaño varía de acuerdo al número de ventiladores que contiene, entre una y seis unidades. La fabricación tiene un plazo de entrega de siete días: dos y tres días para producir el subproducto losa y el subproducto bobina respectivamente; y dos días para el ensamble final. Para la producción de losas, primero, se fabrican aletas. Una máquina de prensa y una matriz cortan y perforan láminas de metal para definir aletas individuales con agujeros, por donde, a continuación, se enhebra tubos de cobre en forma de U. Luego, para obtener el subproducto bobina, los tubos de cobre son expandidos al obligar el paso de barras de metal a través de ellos, se añaden casquillos de cobre a los extremos para cerrar el lado abierto de las losas debido al tipo de enhebrado usado y se añaden los componentes adicionales mediante soldadura fuerte. Antes de realizar el montaje final, las bobinas son inspeccionadas para controlar la calidad del sellado, son sometidas a aire de alta presión y a una prueba de helio. En el ensamble final, la caja metálica, las aspas del ventilador y el motor son instalados. Finalmente, se evalúa el funcionamiento del producto final y, en caso el resultado sea positivo, se prepara para la entrega.

La primera oportunidad de mejora que se modeló fue la alineación de los programas de producción de las áreas del proceso debido a que en la fabricación de los subproductos y el ensamble final se priorizaba la eficiencia local. Para ello, se propuso procesar primero las familias de componentes más rápidas en todos los procesos. Al disminuir la variabilidad de la cantidad de losas listas para ser soldadas se redujo la necesidad de acelerar los

requerimientos de partes con el fin de compensar las losas retrasadas; de esta manera, el modelo mejorado reportó un incremento de 22% del rendimiento y una reducción de 37% del WIP.

La segunda oportunidad de mejora establecía aumentar la frecuencia de entrega de *kits* permitiendo que los componentes del *kit* que estuviesen listos avancen en la línea de producción en lugar de que todo el conjunto se retrase; esto a su vez, reduce el tiempo que destinan los operarios a buscar piezas debido a que el número de opciones disponibles es menor y se concentran en espacios reducidos. En este caso, el rendimiento aumentó solo en 10% y se incrementó el WIP en 37%.

Por otro lado, para minimizar las constantes búsquedas de partes y consumibles para alimentar el proceso, los cuales estaban agrupados y desordenados, la cuarta alternativa de mejora se enfoca en el reordenamiento del flujo de material que consiste en aumentar la frecuencia de entrega de *kits* de componentes y la provisión directa de los materiales a la operación que los demande. Además, en la línea de montaje original, las bobinas se colocaban en el suelo hasta el momento de su alimentación en el proceso; sin embargo, se propuso que se alimenten directamente al principio de la línea para reducir el tiempo de manipulación, operación que no agrega valor al producto. En conjunto, estas mejoras lograron aumentar el rendimiento en 41% y reducir el Trabajo en Proceso (WIP) en 36%.

Asimismo, la simulación de este sistema determinó que el nivel de dotación de personal era elevado, demostró que aun reduciendo la fuerza de trabajo en un 21% los volúmenes de producción se mantenían.

Finalmente, después de cuatro semanas, la simulación brindó oportunidades de mejora a una empresa, que no cumplía con los plazos de entrega de los pedidos, incurría en costos adicionales debido a la programación de horas extras y tenía grandes cantidades de inventario en proceso, demostrando ser una importante herramienta para el mejoramiento de los procesos productivos.

## CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO

En este capítulo, se desarrollará la descripción general y diagnóstico de la empresa. En este último, se describirán y mapearán los procesos principales para seleccionar el proceso a mejorar, se analizará la problemática para determinar sus causas; y, finalmente, se plantearán las contramedidas.

### 2.1 Descripción general de la empresa

ABC S.A.C. desarrolla, produce y comercializa productos de consumo masivo, insumos industriales y nutrición animal. La compañía es la empresa más grande y la segunda más grande de consumo masivo en el Perú y de la región Andina respectivamente. ABC S.A.C. tiene operaciones en seis países de Latinoamérica: Perú, Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Ecuador; y está presente en más de veintitrés países con exportaciones.

En el 2012, las ventas de la empresa fueron valorizadas en US\$ 1,754.2 MM, 11.13% por encima de las obtenidas el año anterior. Además, la empresa reporta la utilidad más alta en el sector de alimentos peruano, US\$ 137.8 MM, lo que representa un aumento de 12.3% con respecto al año 2011. Por otro lado, el valor de los indicadores *Return On Equity* (ROE) y *Return On Assets* (ROA) fueron de 16.7% y 8.2% respectivamente; ver figuras 2.1 y 2.2.<sup>5</sup>

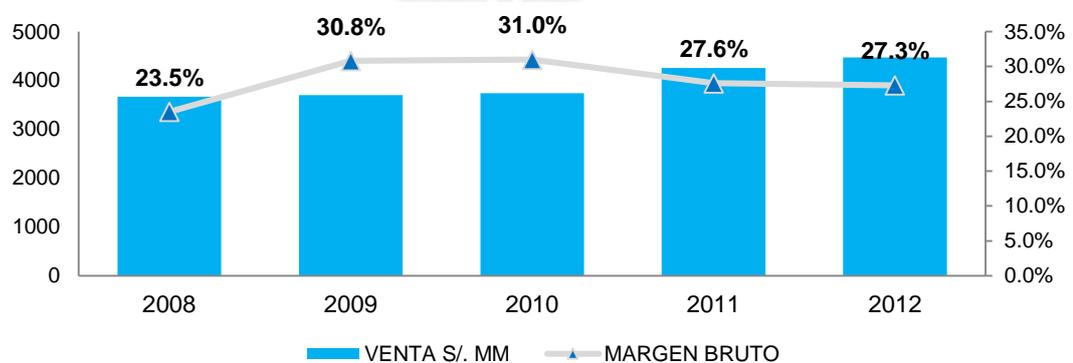


Figura 2.1 Ventas consolidadas de ABC S.A.C.  
Fuente: Alicorp, Memoria Anual (2012)

<sup>5</sup> Véase América Economía (2012-2013). Rankings América Economía. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de [http://rankings.americaeconomia.com/2013/ranking\\_500\\_peru\\_2013/sector\\_alimentos.php](http://rankings.americaeconomia.com/2013/ranking_500_peru_2013/sector_alimentos.php)

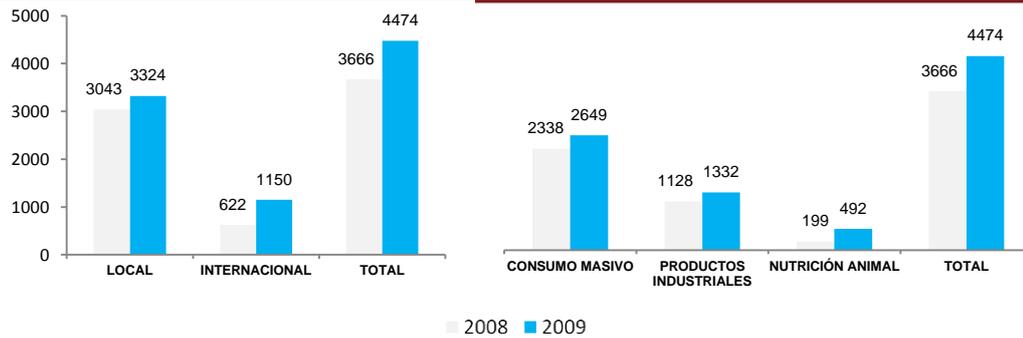


Figura 2.2 Ventas local, internacional y por negocio de ABC S.A.C.  
Fuente: Alicorp, Memoria Anual (2012)

### 2.1.1 Unidades de negocio

La empresa maneja tres unidades de negocio: Negocio de Consumo Masivo<sup>6</sup> (NCM), Negocio de Productos Industriales<sup>7</sup> (NPI) y Negocio de Nutrición Animal<sup>8</sup> (NNA). En la primera, la empresa es líder en el mercado nacional en las diferentes categorías en las que participa debido a la segmentación de sus marcas, la mayoría de ellas tienen segmentos de mercado específicos lo cual le permite a la empresa estar presente en todos los niveles socioeconómicos; mientras que, en la segunda, la empresa cuenta con un amplio portafolio de productos que sirven de insumo a otras empresas; y, en la tercera, la empresa destaca en la industria acuícola nacional e internacional.

### 2.1.2 Perfil organizacional y principios corporativos

“Creamos marcas líderes que transforman mercados generando experiencias extraordinarias en nuestros consumidores. Estamos en constante movimiento, buscando innovar para generar valor y bienestar en la sociedad.” (Alicorp: Reporte Anual 2012) es la Misión de ABC S.A.C.

De manera similar, se cita la Visión de la empresa: “Sorprendemos a los mercados con nuestro crecimiento agresivo e innovación. Transformamos categorías comunes en experiencias extraordinarias. Nuestro objetivo es

<sup>6</sup> Sus principales líneas de negocio son los detergentes, jabones de lavar, productos para el cuidado del cabello, jabón de tocador, margarinas, aceites domésticos, salsas, pastas, galletas, refrescos en polvo, postres instantáneos, alimento para mascotas, entre otros.

<sup>7</sup> Las premezclas; mantecas; margarinas industriales; salsas y aceites para *food service*; las harinas domésticas, pasteleras, panaderas, fideeras, panetoneras y galleteras; entre otros forman parte del Negocio de Productos Industriales.

<sup>8</sup> Alimentos balanceados para peces, camarones y otras especies; e ingredientes y aditivos para la acuicultura.

estar entre las 250 empresas más grandes de Latinoamérica.” (Sitio web de Alicorp S.A.A.).

Por su lado, los principios corporativos que rigen el comportamiento de la empresa y sus colaboradores son “Nos apasiona nuestro trabajo”, “Desarrollamos talento”, “Generamos valor”, “Trabajamos con responsabilidad”, “Creamos experiencias extraordinarias en nuestros consumidores” y “Somos amigables con el medio ambiente”.

De esta manera, los componentes del perfil organizacional antes mencionados explican la importancia de la innovación en el funcionamiento y desarrollo de la empresa, puesto que, la generación de experiencias extraordinarias en los consumidores, colaboradores y demás entidades participantes en el modelo de negocio es resultado del continuo desarrollo de productos y mejoras en los procesos.

### 2.1.3 Organización

El ordenamiento de las áreas y unidades orgánicas de la empresa obedece a una matriz organizacional que es producto de las interacciones entre las tres unidades de negocio y las áreas funcionales; ver figura 2.3.



Figura 2.3 Matriz organizacional de ABC S.A.C.  
Fuente: Cambios Organizacionales Alicorp S.A.A. 2013

La Vicepresidencia Corporativa de Supply Chain se encarga de la administración de la cadena productiva de la compañía; la Vicepresidencia Corporativa de Finanzas, del planeamiento, control y gestión de las finanzas

de la compañía; la Vicepresidencia Corporativa de Recursos Humanos, de la gestión del desarrollo, las relaciones y el talento de los colaboradores de la empresa; y la Dirección Corporativa de Desarrollo Tecnológico, de la investigación, desarrollo e innovación de productos, los proyectos de ingeniería y automatización.

## 2.2 Diagnóstico

El diagnóstico consiste en el mapeo de los procesos de la empresa con el objetivo de seleccionar el proceso a mejorar; luego, se analiza la problemática para determinar los puntos sensibles de mejora; y, finalmente, dada la determinación de causas, se plantean las contramedidas.

### 2.2.1 Descripción y mapeo de los procesos

La estrategia de ABC S.A.C. es consolidarse como líder en las categorías en las que participa, crear experiencias extraordinarias en sus consumidores mediante el desarrollo de productos, sus altos estándares de calidad y su continuo plan de expansión a través de adquisiciones. Asimismo, la empresa continuará trabajando social y ambientalmente responsable y no descuidará el desarrollo del talento y crecimiento de sus colaboradores.

Acorde con tal estrategia, se han definido los objetivos estratégicos según la perspectiva financiera, de los clientes, procesos y aprendizaje, como se muestra en el mapa estratégico de la empresa; ver figura 2.4. Ellos serán utilizados para seleccionar el proceso a mejorar.

De esta manera, con el fin de alcanzar los objetivos trazados, la compañía ha construido una arquitectura de procesos que consiste en tres tipos de macroprocesos en su nivel más genérico: estratégicos, que orientan a los demás procesos de acuerdo a la visión de la empresa; centrales, aquellos que generan valor para el cliente y están alineados con la misión de la empresa; y de soporte, los cuales proporcionan recursos e insumos a los procesos centrales.

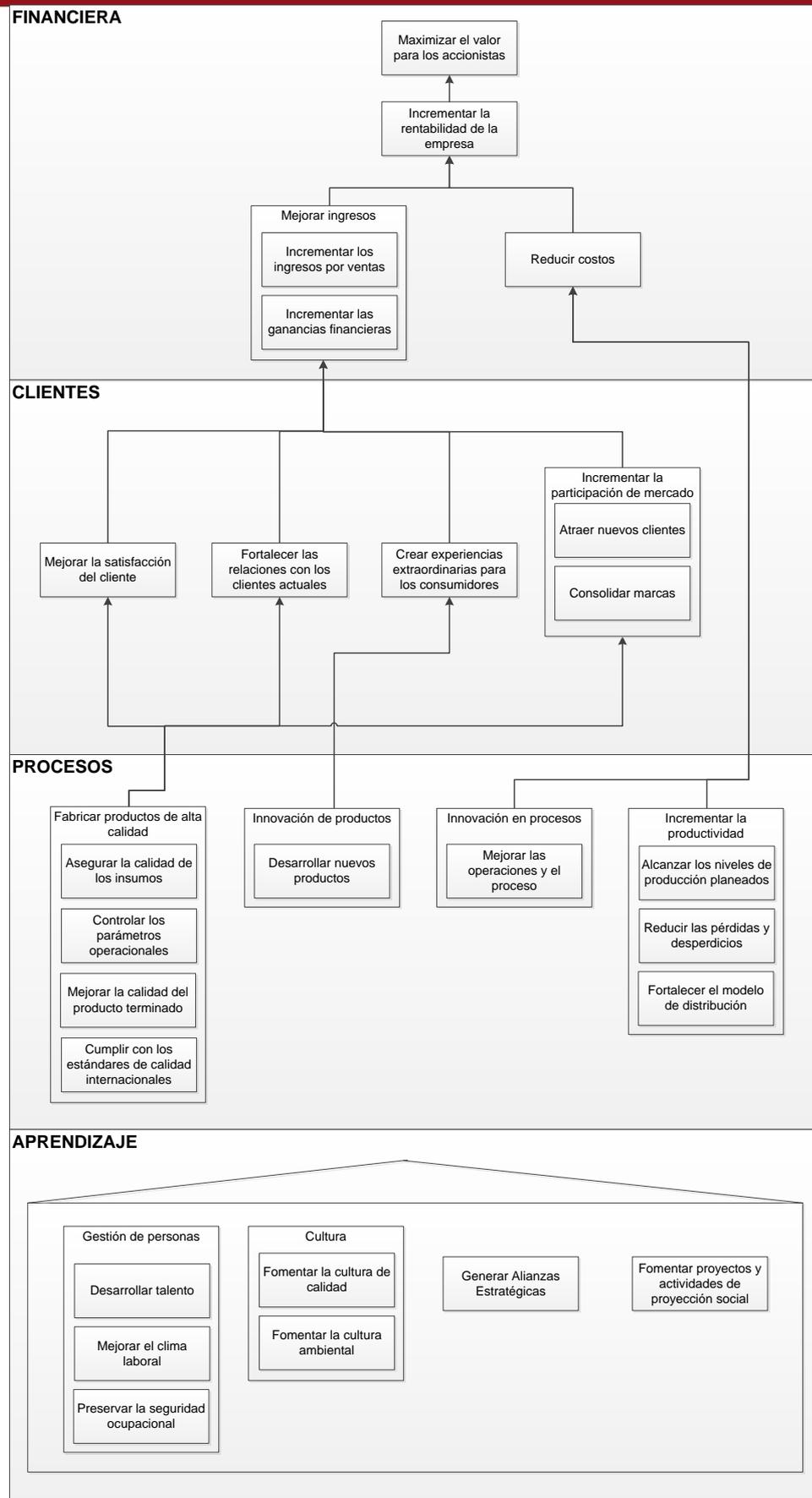


Figura 2.4 Mapa Estratégico de ABC S.A.C.  
Elaboración propia

Los procesos estratégicos son los de planeamiento estratégico, sistemas de gestión de la calidad, y *marketing* y negocios internacionales; por su lado, los procesos centrales son gestión de ventas, gestión de compras, manufactura y distribución; mientras que, entre los procesos de soporte están la gestión financiera, gestión del talento humano, planeamiento, gestión de mantenimiento, control de calidad, desarrollo tecnológico y servicio al cliente.

A continuación, se presenta el mapa de macroprocesos en la figura 2.5 y la descripción de sus procesos internos en la tabla 2.1.

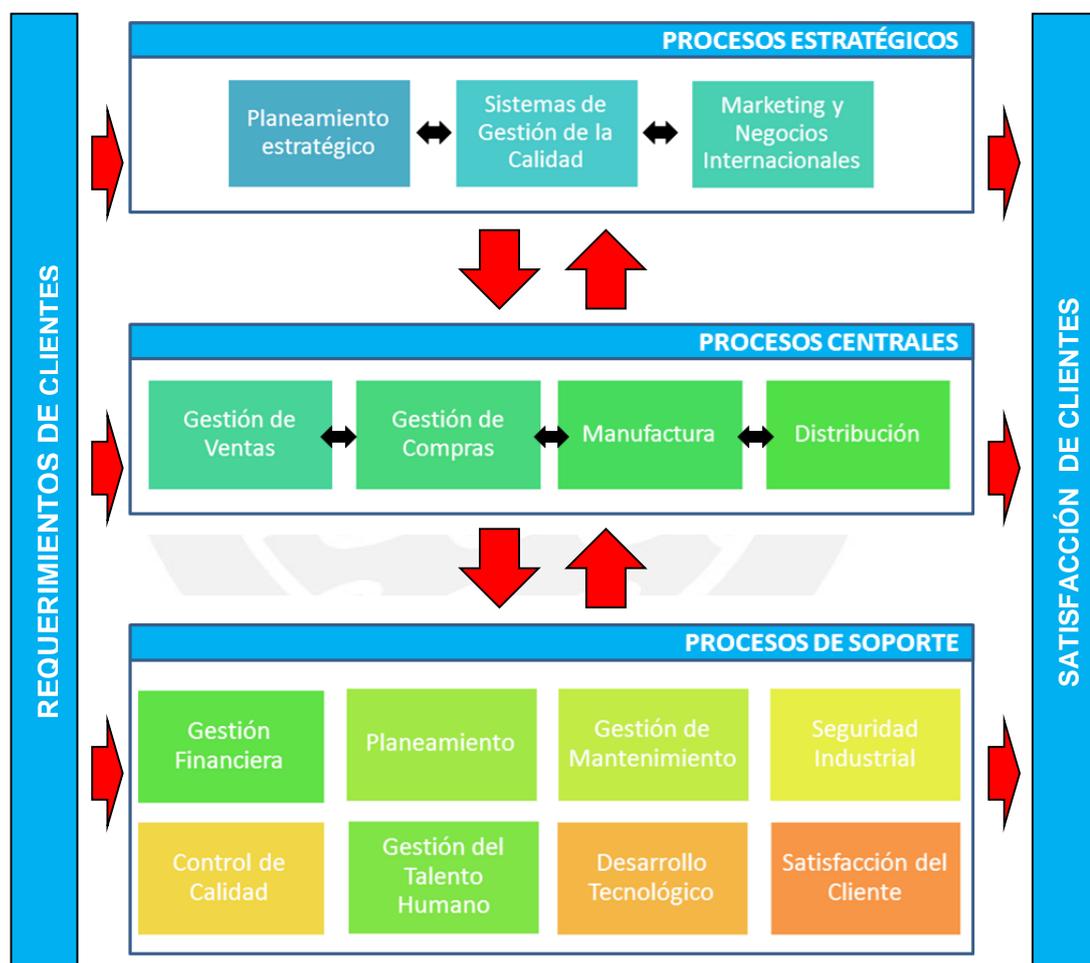


Figura 2.5 Mapa de macroprocesos  
Elaboración propia

Tabla 2.1 Descripción de Macroprocesos

PROCESOS	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
<b>Planeamiento estratégico</b>	Actividades del planeamiento estratégico, planeamiento de recursos, planeamiento de procesos, presupuesto, definición y seguimiento de objetivos estratégicos.
<b>Sistemas de Gestión de la Calidad</b>	Involucra las actividades del Sistema de Gestión de la Calidad; asimismo, administra los Sistemas de Gestión Ambiental y Seguridad alimentaria.
<b>Marketing y Negocios Internacionales</b>	Detecta oportunidades de negocio a nivel nacional e internacional y define las estrategias de mercadotecnia.
<b>Gestión de Ventas</b>	Ejecuta las estrategias de ventas a nivel nacional e internacional. Este proceso abarca desde el contacto con el cliente hasta la emisión de la solicitud de pedido.
<b>Gestión de Compras</b>	Proceso de abastecimiento de materias primas e insumos. Establece contacto con proveedores nacionales e internacionales y realiza las adquisiciones considerando los parámetros de calidad.
<b>Manufactura</b>	Proceso productivo donde se transforma la materia prima en el producto requerido por el cliente, el cual debe mantener niveles óptimos de productividad.
<b>Distribución</b>	Involucra la gestión del modelo de distribución: recepción de productos terminados, almacenamiento, preparación de pedidos y programación del transporte.
<b>Gestión Financiera</b>	Consiste en la administración de la estrategia financiera de la empresa, brinda información financiera y de gestión a clientes internos y externos, controla la situación económica y financiera de la empresa, y gestiona la obtención de recursos financieros.
<b>Planeamiento</b>	Incluye las actividades de control y planificación de la producción de acuerdo al pronóstico de los requerimientos del mercado.
<b>Gestión de Mantenimiento</b>	Incluye actividades del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo asegurando la continuidad de las operaciones.
<b>Seguridad Industrial</b>	Abarca los procesos de supervisión y control del Programa de Control de Pérdidas de la compañía, el cual considera lesiones, enfermedades ocupacionales y daños materiales.
<b>Control de Calidad</b>	Involucra actividades de inspección y validación de los productos en proceso y terminados.
<b>Gestión del Talento Humano</b>	Proceso de gestión, selección, capacitación y desarrollo de los recursos humanos de la compañía.
<b>Desarrollo Tecnológico</b>	Abarca actividades relacionadas al desarrollo de productos, proyectos de ingeniería, implementación de nuevos procesos y mejoras a los actuales.
<b>Satisfacción del Cliente</b>	Desarrollo de estudios de satisfacción del cliente y seguimiento a las incidencias en los indicadores de los niveles de servicio y satisfacción.

Elaboración propia

En los procesos centrales, los procesos productivos tienen especial importancia en la generación de valor para el cliente, puesto que consisten en la fabricación de los productos aplicando los estándares de calidad definidos para satisfacer los requerimientos y expectativas del mercado.

Por tanto, ABC S.A.C. cuenta con varias plantas con la infraestructura de producción adecuada para la fabricación de productos de consumo masivo, insumos industriales y nutrición animal; ver figura 2.6 y tabla 2.2. Entre ellas destaca Galletería Lima, donde se elaboran y envasan galletas y *wafers* para el mercado nacional e internacional.

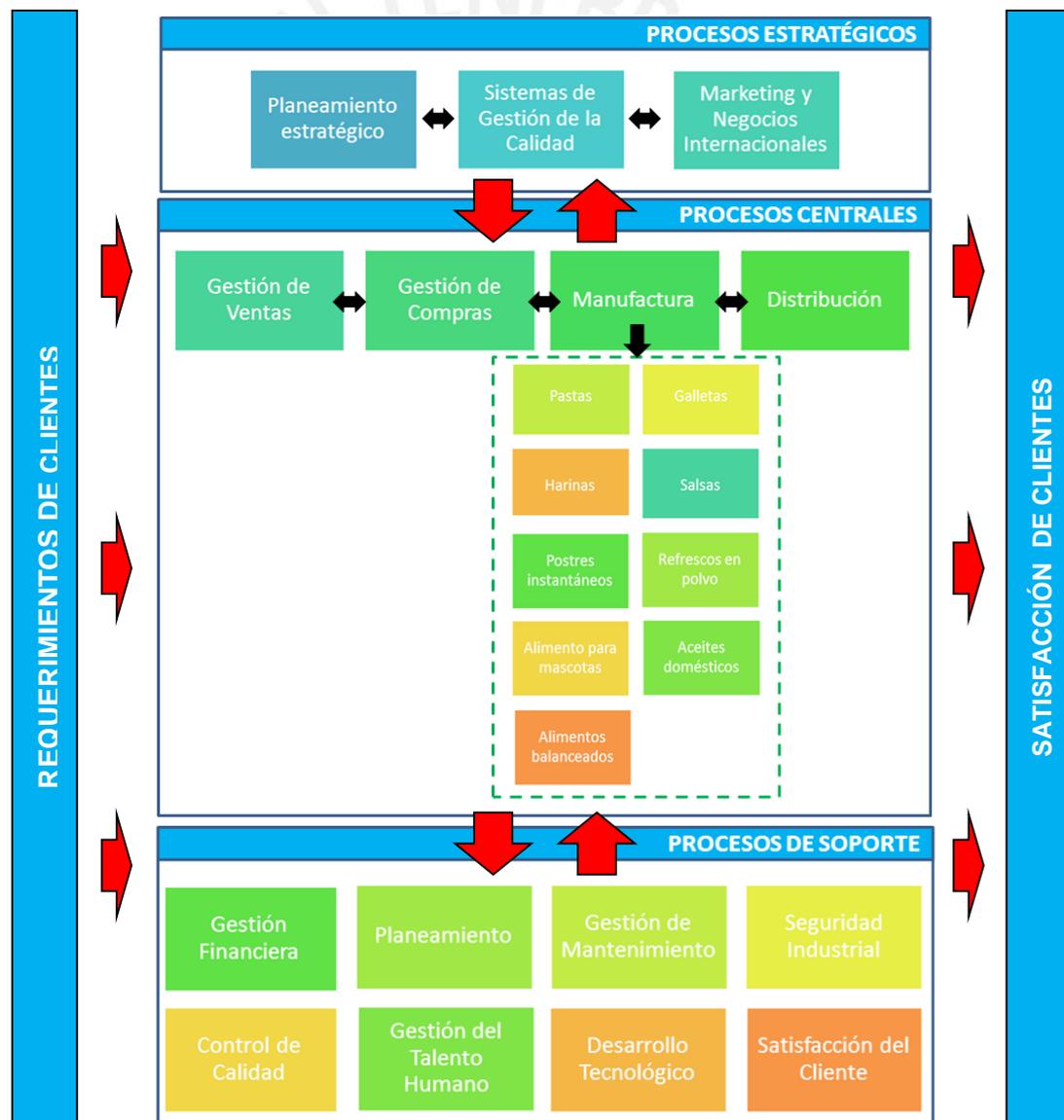


Figura 2.6 Mapa de procesos de manufactura  
Elaboración propia

Tabla 2.2 Descripción de los principales procesos de manufactura

PROCESOS	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
<b>Pastas</b>	Proceso de fabricación de productos fideeros. El proceso está casi totalmente automatizado; por lo que, la fuerza laboral es mínima.
<b>Galletas</b>	Involucra las actividades productivas de elaboración y envasado de galletas y <i>wafers</i> . Este es uno de los procesos que más demanda mano de obra.
<b>Harinas</b>	Proceso productivo diversificado para la obtención de harinas domésticas, pasteleras, panaderas, fideeras, panetoneras y galleteras.
<b>Salsas</b>	Proceso de elaboración y envasado de salsas para <i>food service</i> .
<b>Postres instantáneos</b>	Proceso productivo de elaboración y envasado de postres instantáneos, el cual consiste en la mezcla de insumos, envasado, encajado y paletizado.
<b>Refrescos en polvo</b>	Este proceso es similar al de los postres instantáneos, afinidad por la cual ambos se realizan en una misma planta productiva.
<b>Alimento para mascotas</b>	Consiste en la elaboración y envasado de alimento para mascotas, producto de consumo masivo.
<b>Aceites domésticos</b>	Proceso de producción de aceites con un 40% menos grasas saturadas y destinados al consumo doméstico.
<b>Alimentos balanceados</b>	Fabricación de alimentos balanceados para la alimentación de camarones y peces.

Elaboración propia

Galletería Lima, ubicada geográficamente en la provincia constitucional del Callao, cuenta con tres líneas de elaboración y envasado de galletas, una línea de elaboración y envasado de *wafers*, una línea de bañados y una línea de envasado granel. Esta planta reporta una capacidad de producción superior a las dos mil toneladas mensuales y dispone de una fuerza laboral de más de cuatrocientas personas divididas en tres turnos de trabajo.

El proceso de elaboración y envasado de galletas inicia con la preparación de la masa de galleta a partir de insumos mayores, azúcar, agua, manteca, azúcar invertida y harina; e insumos menores, tales como los bicarbonatos, sueros, esencias, entre otros. Luego, la masa es moldeada para formar las galletas, las cuales proceden a ser horneadas y enfriadas antes de iniciar el proceso de envasado. En el área de envasado, las galletas son alimentadas manualmente a los canales de ingreso de las envasadoras primarias para

lograr los paquetes de galletas. Estos últimos son transportados por fajas a puntos de alimentación manual del envasado secundario, donde se obtienen *packs* de paquetes de galletas. Finalmente, los *packs* son transportados vía faja aérea al área de encajado y paletizado.

Por otro lado, cabe resaltar que si bien son tres líneas destinadas al mismo proceso productivo, estas no obedecen una misma configuración debido al tipo de producto que fabrican. En el proceso de elaboración, el moldeado de las galletas se puede realizar utilizando moldes rotativos, mediante un proceso de laminado y estampado, un proceso de laminado y rotocortado, o uno de extrusión; mientras que, en el proceso de envasado, el diseño de la línea depende del número de envasadoras primarias y secundarias. Ver figura 2.7.

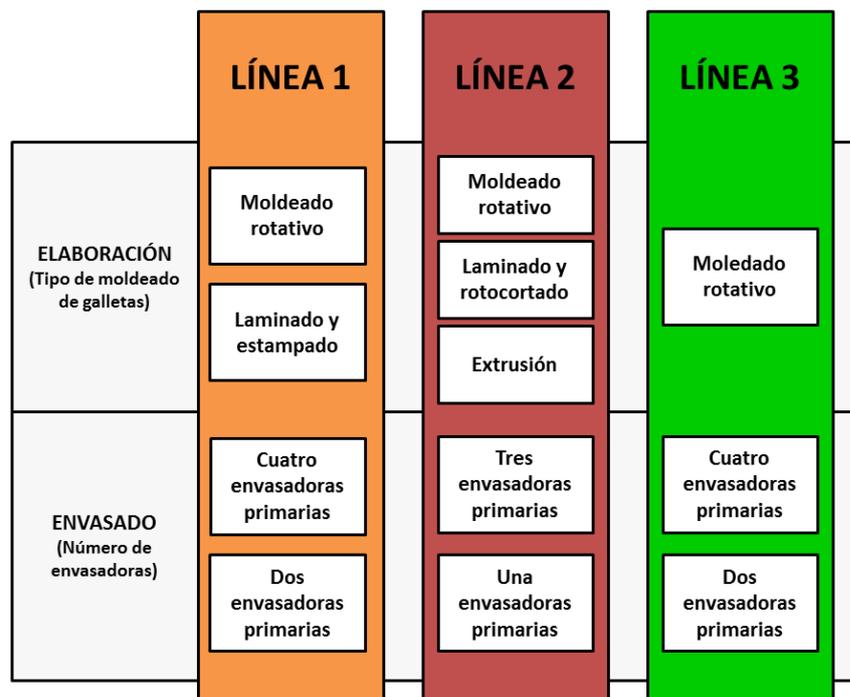


Figura 2.7 Líneas de elaboración y envasado de galletas  
Elaboración propia

En la línea de elaboración y envasado de *wafers*, las operaciones del proceso son la preparación de masa, horneado, enfriamiento, cremado, enfriamiento, cortado, envasado primario, envasado secundario, encajado y paletizado. El horno consta de un sistema de libros metálicos que se cierran

una vez suministrada la masa sobre su superficie para iniciar la secuencia de horneado y se abren al fin de ella para liberar las planchas de masa horneada, llamadas obleas. Las obleas son apiladas automáticamente en un arco de enfriamiento para luego ser cremadas, operación en la que se suministra crema sobre su superficie y se apilan para formar planchas de *wafers*. Estas últimas son conducidas a una columna de enfriamiento para asegurar su estabilidad mediante el enfriamiento de la crema. A continuación, las planchas de *wafers* son seccionadas por una cortadora de doble sentido formando pequeños bloques, *wafers*. Luego, de manera análoga al envasado de galletas, los *wafers* son envasados en paquetes y estos a su vez en *packs*. Por último, se realiza el encajado y paletizado de los productos.

Por su lado, la línea de bañados cuenta con tres máquinas bañadoras para galletas de tamaño estándar y una máquina bañadora pequeña para galletas a granel con sus respectivos túneles de enfriamiento. Las galletas destinadas a bañado son elaboradas en las tres líneas de elaboración y son retiradas manualmente, colocadas y transportadas en bandejas antes de iniciar el envasado. Ya en la línea de bañados, las galletas son alimentadas manualmente a las bañadoras para la aplicación de cobertura líquida. Inmediatamente después, las galletas bañadas pasan a través de los túneles de enfriamiento para asegurar la solidificación de la cobertura. Finalmente, las galletas de tamaño estándar se envasan, encajan y paletizan de la misma manera que en las líneas de envasado anteriores; mientras que, las galletas a granel bañadas son direccionadas a envasadoras de balanza Masipack para luego finalizar con su encajado y paletizado.

Las galletas a granel son elaboradas en las tres líneas de elaboración de la planta y son retiradas ubicando tolvas antes del envasado cuyas descargas son contenidas en bandejas para su transporte. Aquellas galletas que requieren cobertura son trasladadas a la línea de bañados y las que no son vertidas directamente en la faja alimentadora de las envasadoras de balanza Masipack. Para finalizar, ambos grupos son enviados al área de encajado y paletizado.

También, es importante mencionar que si bien las líneas antes descritas se encuentran claramente delimitadas, se hace evidente las interacciones que se dan entre ellas. Por ello, para su comprensión, en la figura 2.8, se presenta un diagrama descriptivo sobre los transportes de producto en proceso entre todas las líneas a excepción de la línea de elaboración y envasado de *wafers*.

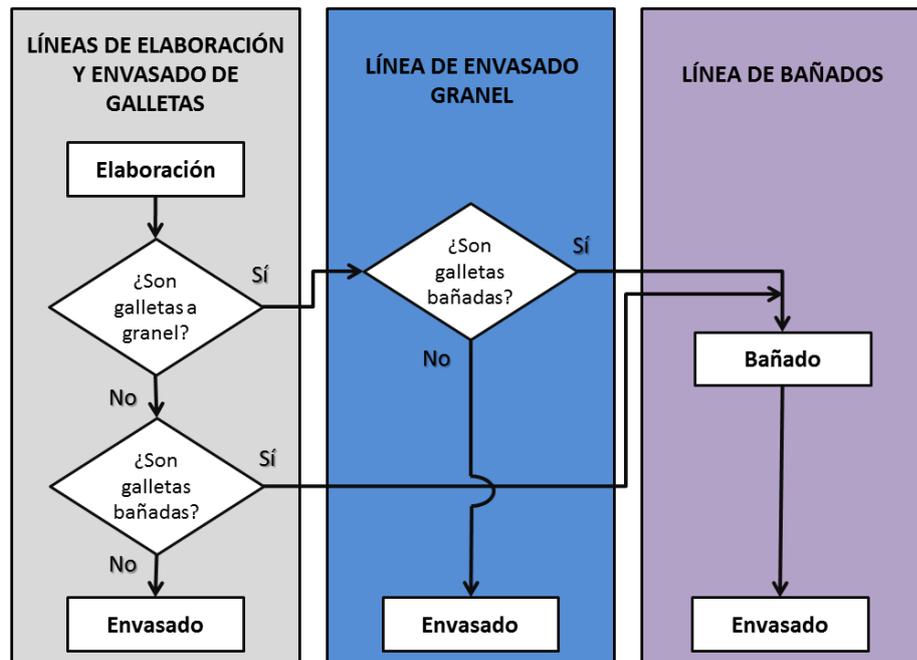


Figura 2.8 Interacciones entre las líneas de producción  
Elaboración propia

### 2.2.2 Selección del proceso a mejorar

Como se mencionó, para la selección del proceso a mejorar se hará uso de los objetivos estratégicos identificados previamente. De esta manera, las tres líneas de elaboración y envasado de galletas, la línea de elaboración y envasado de *wafers*, la línea de bañados y la línea de envasado granel son evaluadas de acuerdo a su relación con el mapa estratégico de la empresa.

Así, se han definido criterios de evaluación y factores de valoración para los objetivos estratégicos como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Criterios y factores de valoración de objetivos estratégicos

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS		CRITERIO DE EVALUACIÓN	FACTOR	
FINANCIERA	1	Maximizar el valor para los accionistas	Cualitativo	5
	2	Incrementar la rentabilidad	Utilidad generada	5
	3	Mejorar ingresos	Utilidad generada por tonelada de producción	4
	4	Reducir costos	Cualitativo	4
CLIENTES	5	Mejorar la satisfacción del cliente	Número de días sin reclamos	3
	6	Fortalecer las relaciones de los clientes actuales	Cualitativo	3
	7	Crear experiencias extraordinarias en los consumidores	Cualitativo	3
	8	Incrementar la participación de mercado	Volúmenes de producción	4
PROCESOS	9	Fabricar productos de alta calidad	Promedio mensual de merma valorizada	4
	10	Innovación de productos	Número de nuevos productos	2
	11	Innovación en procesos	Número de mejoras de procesos	2
	12	Incrementar la productividad	Eficiencia General de los Equipos (OEE)	5
APRENDIZAJE	13	Gestión de personas	Número de personas del rol óptimo	3
	14	Cultura de calidad y ambiente	Cualitativo	3
	15	Generar alianzas estratégicas	Cualitativo	2
	16	Fomentar la proyección social	Cualitativo	1

Elaboración propia

Para la evaluación de los procesos con criterios cualitativos se ha considerado el juicio y apreciación de los especialistas. A continuación, se detalla la evaluación de los procesos productivos bajo los diez criterios restantes.

Primero, para determinar el aporte de los procesos al objetivo estratégico “Incrementar la rentabilidad” se considera la utilidad generada en dólares americanos de cada uno de ellos desde enero del 2012 a octubre del 2013 como lo muestra la figura 2.9.

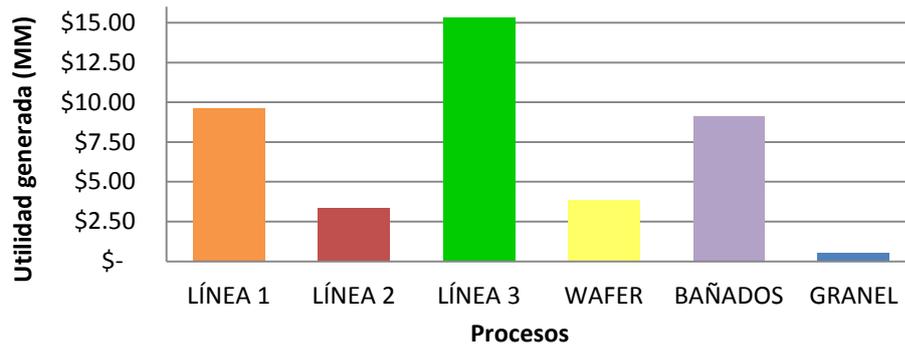


Figura 2.9 Evaluación del segundo objetivo estratégico  
Elaboración propia

Segundo, “Mejorar los ingresos” es el último objetivo estratégico a evaluar cuantitativamente de la perspectiva financiera; en este caso, se considera el margen de contribución bruta medida en dólares americanos por tonelada producida; ver tabla 2.4.

Tabla 2.4 Evaluación del tercer objetivo estratégico

PROCESOS	UTILIDAD (US\$/TON)	PUNTAJE ASIGNADO
LÍNEA 1	700	3
LÍNEA 2	400	2
LÍNEA 3	700	3
WAFER	1,500	5
BAÑADOS	1,300	4
GRANEL	400	2

Elaboración propia

Tercero, los reclamos son muestras de insatisfacción de los clientes; de esta manera, se justifica el uso del número de días sin reclamos al 21 de noviembre del 2013 como criterio para la evaluación del objetivo estratégico “mejorar la satisfacción del cliente”; ver tabla 2.5.

Tabla 2.5 Evaluación del quinto objetivo estratégico

PROCESOS	ÚLTIMO RECLAMO	DÍAS SIN RECLAMOS	PUNTAJE ASIGNADO
LÍNEA 1	12/10/2013	40	5
LÍNEA 2	01/11/2013	20	5
LÍNEA 3	28/09/2013	54	5
WAFER	21/05/2009	1645	1
BAÑADOS	18/10/2013	34	5
GRANEL	10/03/2013	256	3

Elaboración propia

Cuarto, la demanda de los productos está directamente relacionada con las órdenes de producción. Así, se puede asumir que los procesos con mayores volúmenes de producción son los que más contribuyen a incrementar la participación de mercado. Para la evaluación de este objetivo se considera el número de toneladas producidas desde enero del 2012 a octubre del 2013 de cada proceso; ver figura 2.10.

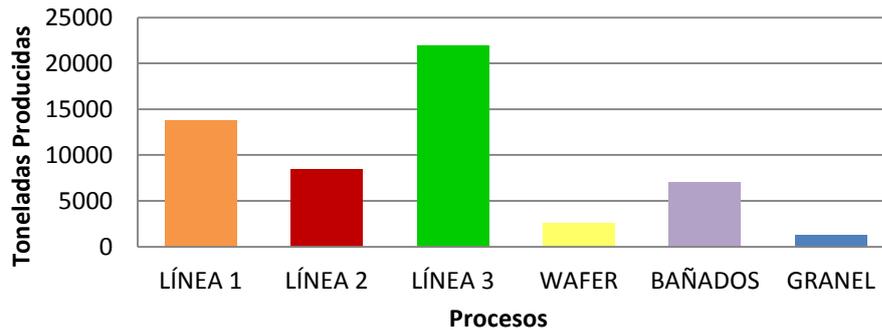


Figura 2.10 Evaluación del octavo objetivo estratégico  
Elaboración propia

Quinto, para el noveno objetivo estratégico se determina el grado de calidad en la fabricación de cada proceso a través de las mermas valorizadas. Por tanto, el indicador a utilizar es el promedio mensual de merma valorizada considerando la información de productos no conformes desde enero del 2012 a octubre del 2013; ver tabla 2.6.

Tabla 2.6 Evaluación del noveno objetivo estratégico

PROCESOS	PROMEDIO MENSUAL DE MERMA VALORIZADA (S/.)	PUNTAJE ASIGNADO
LÍNEA 1	12,228.03	2
LÍNEA 2	11,515.63	2
LÍNEA 3	65,510.64	5
WAFER	3,176.23	1
BAÑADOS	35,533.21	4
GRANEL	977.98	1

Elaboración propia

Asimismo, en la figura 2.11, se muestra la evolución del porcentaje de productos no conformes en el mismo intervalo de tiempo.

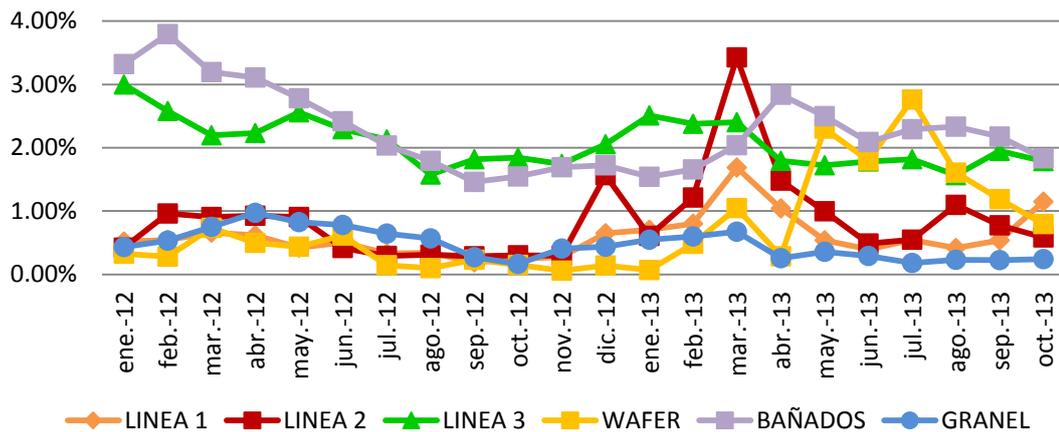


Figura 2.11 Evolución de productos no conformes por procesos  
Elaboración propia

Sexto, para evaluar el objetivo estratégico “Innovación de productos” se utiliza el número de lanzamientos de nuevos productos en el último año. En la tabla 2.7, se justifican los puntajes asignados a cada proceso.

Tabla 2.7 Evaluación del décimo objetivo estratégico

PROCESOS	NÚMERO DE NUEVOS PRODUCTOS	PUNTAJE ASIGNADO
LÍNEA 1	1	1
LÍNEA 2	9	5
LÍNEA 3	0	1
WAFER	7	5
BAÑADOS	0	1
GRANEL	1	1

Elaboración propia

Séptimo, de manera análoga que en la evaluación anterior, el objetivo estratégico “Innovación en procesos” se evalúa considerando el número de mejoras en el último año. En este caso, la línea de bañados es la única con implementaciones de este tipo, solo dos.

Octavo, la Eficiencia General de los Equipos (OEE) es un indicador de productividad producto de tres ratios: disponibilidad, rendimiento y calidad. Por ello, es un criterio válido de evaluación para el doceavo objetivo estratégico “Incrementar la productividad”. En este caso, se utiliza el promedio de los OEE’s reportados desde enero del 2012 a octubre del 2013; ver tabla 2.8.

Tabla 2.8 Evaluación del doceavo objetivo estratégico

PROCESOS	OEE MENSUAL PROMEDIO	PUNTAJE ASIGNADO
LÍNEA 1	76.43%	3
LÍNEA 2	79.36%	2
LÍNEA 3	74.93%	4
WAFER	84.39%	1
BAÑADOS	68.25%	5
GRANEL	No se mide	3

Elaboración propia

Además, en la figura 2.12, se presenta la evolución de la Eficiencia General de los Equipos de los procesos en el mismo intervalo de tiempo.

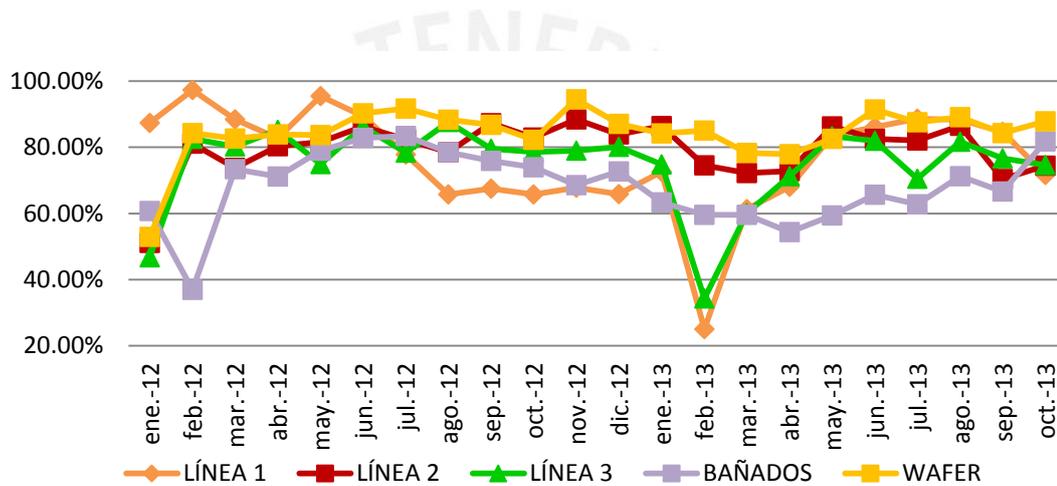


Figura 2.12 Evolución del OEE por procesos  
Elaboración propia

Noveno, finalmente, el último objetivo estratégico con criterio cuantitativo a revisar es “Gestión de personas” donde se ha decidido utilizar al número de personas del rol óptimo de cada proceso como criterio de evaluación; ver tabla 2.9.

Tabla 2.9 Evaluación del treceavo objetivo estratégico

PROCESOS	NÚMERO DE PERSONAS DEL ROL ÓPTIMO	PUNTAJE ASIGNADO
LÍNEA 1	23	4
LÍNEA 2	20	4
LÍNEA 3	39	5
WAFER	9	2
BAÑADOS	36	5
GRANEL	5	1

Elaboración propia

Para terminar, los puntajes asignados a cada proceso según el objetivo estratégico evaluado son insumos para la construcción de una matriz de priorización de procesos; ver tabla 2.10. En ella, se concluye que el proceso seleccionado a mejorar es la tercera línea de elaboración y envasado de galletas.

Tabla 2.10 Selección del proceso a mejorar

OBJETIVO	FACTOR	PROCESOS											
		LÍNEA 1		LÍNEA 2		LÍNEA 3		WAFER		BAÑADOS		GRANEL	
		PUNTAJE / TOTAL											
1	5	3	15	1	5	4	20	2	10	2	10	2	10
2	5	4	20	2	10	5	25	3	15	4	20	1	5
3	4	3	12	2	8	3	12	5	20	4	16	2	8
4	4	3	12	1	4	4	16	2	8	3	12	1	4
5	3	5	15	5	15	5	15	1	3	5	15	3	9
6	3	5	15	4	12	5	15	4	12	4	12	2	6
7	3	4	12	3	9	5	15	5	15	5	15	2	6
8	4	4	16	3	12	5	20	2	8	3	12	1	4
9	4	2	8	2	8	5	20	1	4	4	16	1	4
10	2	1	2	5	10	1	2	5	10	1	2	1	2
11	2	3	6	3	6	3	6	3	6	1	2	3	6
12	5	3	15	2	10	4	20	1	5	5	25	3	15
13	3	4	12	4	12	5	15	2	6	5	15	1	3
14	3	1	3	2	6	3	9	2	6	3	9	1	3
15	2	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
16	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
			<b>172</b>		<b>136</b>		<b>219</b>		<b>137</b>		<b>190</b>		<b>94</b>

Elaboración propia

### 2.2.3 Descripción y mapeo del proceso a mejorar

La tercera línea de elaboración y envasado de galletas es el proceso con mayor capacidad de producción, más de 12 mil toneladas anuales, y es la que reporta mayores ingresos; no obstante, es la segunda línea con menor

OEE y la primera en merma valorizada. A continuación, se describe y se presenta el mapeo de este proceso; ver figura 2.13.



Figura 2.13 Diagrama de bloques del proceso a mejorar  
Elaboración propia

El proceso inicia con la preparación de la masa de galleta a partir de insumos mayores, azúcar, agua, manteca, azúcar invertida y harina; e insumos menores. Los primeros son suministrados automáticamente por las vías de alimentación de las batidoras horizontales, ubicadas en la parte superior de estas; ver figura 2.14. Por su lado, los insumos menores son abastecidos primero al área de pesado de ingredientes en sacos y cilindros dependiendo del insumo; ahí, son pesados y colocados en bolsas plásticas de distintos colores según el insumo para que sean transportados a ubicaciones próximas a las batidoras en el área de elaboración. Después, ya en las batidoras horizontales, un operario vierte los insumos menores y realiza un pre batido por seis minutos; acto seguido, activa el sistema de alimentación de insumos mayores y finaliza con un batido por otros seis minutos.

Luego, la masa elaborada es descargada de la batidora horizontal a una arteza<sup>9</sup> para ser transportada al ascensor de artezas. Este último eleva la arteza aproximadamente a tres metros de altura para verter su contenido en

<sup>9</sup> Olla metálica rodante que se utiliza para transportar o almacenar las masas de galleta elaboradas.

una tolva. A la salida de la cual, la masa cae en una faja transportadora inclinada que trabaja a una velocidad de 102 m/min y tiene implementado un detector de metales. La masa es transportada hacia una tolva más pequeña en cuya base se ubica el molde rotativo para la formación de las galletas como muestra la figura 2.15.

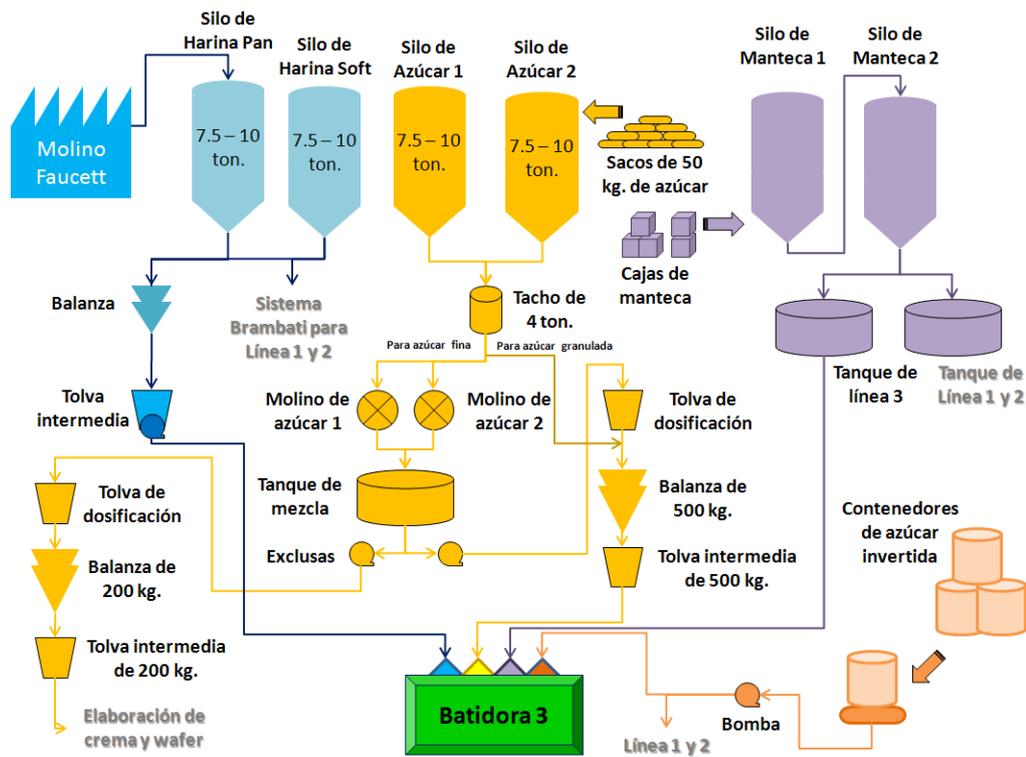


Figura 2.14 Alimentación de insumos mayores a batidora  
Elaboración propia

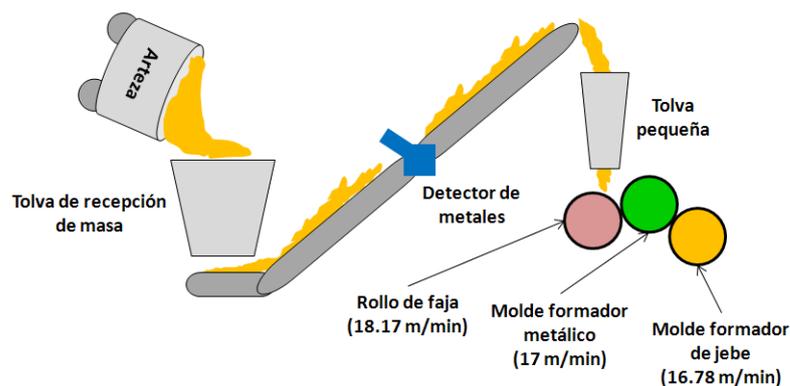


Figura 2.15 Moldeo rotativo  
Elaboración propia

Inmediatamente después del moldeado, las galletas ya formadas son desprendidas del molde por una faja sinfín. Ellas continúan su recorrido sobre una faja de transferencia, una enhornadora y una malla de acero, las cuales trabajan a la misma velocidad que el molde formador, 17 m/min.

A continuación, las galletas son horneadas en un tiempo de tránsito de 3 minutos y 30 segundos aproximadamente en el horno. Luego, son transportadas al área de envasado en una faja de enfriamiento.

Es importante mencionar que el horno es un punto crítico de control, se debe comprobar que la temperatura en sus tres fases sea superior a los 70°C cada dos horas; además, a la salida de él, cada treinta minutos se inspeccionan las galletas para asegurar que tengan el peso, medida y humedad deseada. Ver figura 2.16.



Figura 2.16 Temperaturas del horno  
Elaboración propia

En el área de envasado, las galletas pasan por una mesa apiladora y una de acomodo para que luego los operarios puedan manipularlas con facilidad. Ellos las alimentan manualmente a las vías de ingreso, canales vibratorios, de las envasadoras primarias, las cuales son la suma de una máquina cremadora Peters y una envasadora Bosch.

De esta manera, esta línea está habilitada para envasar galletas con y sin crema. Dado el primer caso, la operación de cremado se realiza como se ilustra en la figura 2.17; caso contrario, la máquina Peters solo es de tránsito.

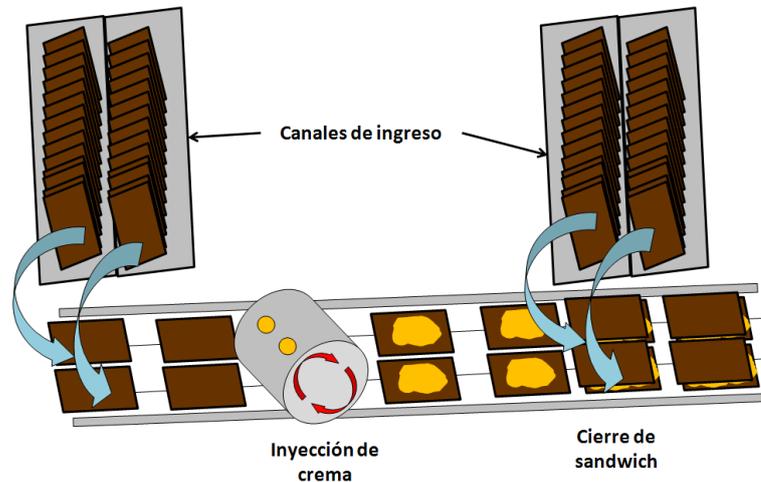


Figura 2.17 Cremado de galletas  
Elaboración propia

Para la elaboración de la crema se utiliza una mezcladora San Cassiano y se procede de la siguiente manera en la mayoría de casos. Primero, se coloca maicena, manteca, esencias, sal y recorte<sup>10</sup>, y se realiza un pre batido; luego, se descarga azúcar automáticamente de la tolva intermedia de 200 kg. que alimenta la mezcladora; y, finalmente, se realiza un batido.

La crema es descargada y transportada en artezas de 500 kg a ubicaciones próximas a las ollas de crema conectadas a las envasadoras primarias, máquina cremadora Peters. Los maquinistas utilizan palas para transferir la crema desde la arteza a la olla de crema, operación que realizan cada 10 o 15 minutos.

Entonces, el proceso continúa independientemente si las galletas son cremadas o no de la misma manera. Las galletas son apiladas y agrupadas automáticamente para ser envasadas en paquetes<sup>11</sup>. Estos últimos son

<sup>10</sup> El recorte es crema retirada del proceso cuando se está alistando la máquina para producir otro producto. Es almacenado en bandejas de 30 kg y se utiliza en la preparación de nuevas cremas.

<sup>11</sup> El envase plástico de los paquetes y packs es comprado y cargado a las envasadoras en bobinas.

transportados a puntos de alimentación manual para el envasado secundario donde se envasan los paquetes en *packs* de manera similar.

Los *packs* de paquetes son transportados al área de encajado y paletizado. Ahí, cuadrillas de operarios los colocan manualmente en cajas, las cuales pasan por encintadoras automáticas, balanzas en línea para verificar su peso y son paletizadas finalmente.

Respecto a la distribución del personal, la tercera línea de envasado de galletas tiene un rol óptimo de treinta y cinco personas, las cuales se distribuyen como muestra la figura 2.18. Además, cabe resaltar que, cuando se procesa a mayor velocidad debido al tipo de producto, se coloca una persona adicional en la mesa de acomodado; y cuando se reduce la velocidad de envasado, se retiran dos personas del área de encajado.

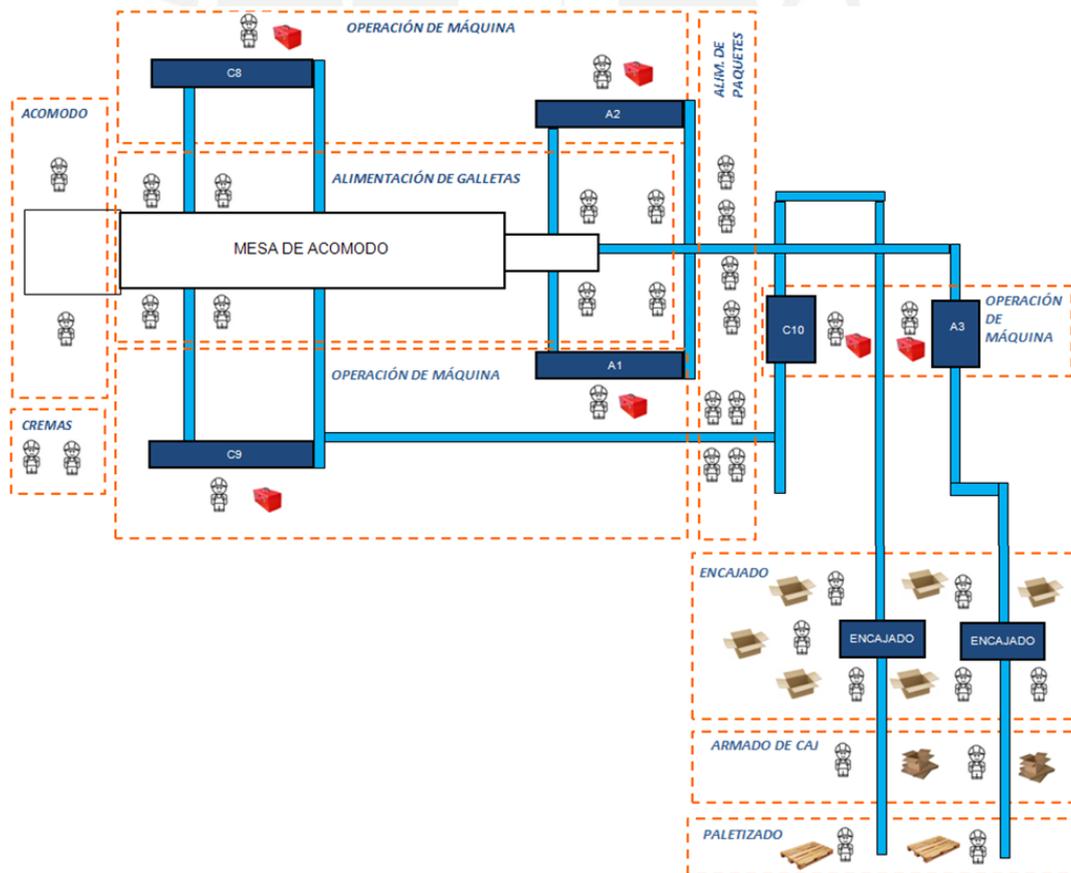


Figura 2.18 Distribución de personal  
Elaboración propia

## 2.2.4 Análisis y priorización de problemas

Se han identificado los principales problemas de la tercera línea de elaboración y envasado de galletas cuya priorización se dará en función de la valorización económica de sus efectos; ver tabla 2.11.

De esta manera, como la mayoría de ellos impacta en la capacidad de producción al generar paradas de línea, se ha considerado el margen de contribución de la línea, US\$ 700/tonelada, una capacidad de producción de 20 toneladas por turno de 8 horas y la duración de las paradas desde enero a octubre del 2013 para estimar los ingresos no percibidos por su causa.

En el caso específico de los excesivos tiempos para cambios de producto y formato<sup>12</sup> en el área de envasado, paradas rutinarias, solo se ha considerado el 20% del tiempo registrado, ya que los especialistas del proceso señalan que dichos tiempos de *set up* se pueden reducir en tal magnitud. Por otro lado, la merma se ha valorizado utilizando su costo, S/. 3.26/kg, un tipo de cambio a dólares americanos de S/. 2.5 y los volúmenes de merma reportados desde enero a octubre del 2013.

Tabla 2.11 Valorización de problemas

PROBLEMA	CÓDIGO	DURACIÓN DE PARADAS (HORAS)	VALORIZACIÓN (US\$)
ACUMULACIÓN DE BANDEJAS	A	271.36	522,368.00
MALA CALIBRACIÓN Y AJUSTES CONTINUOS	B	174.69	336,278.25
ALTOS NIVELES DE MERMA	C	-	261,523.60
FALLAS IMPREVISTA DE EQUIPOS	D	128.58	247,516.50
FALTA DE ABASTECIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y MATERIALES	E	98.74	190,074.50
TIEMPO DE CAMBIO DE PRODUCTO Y FORMATO ELEVADO EN EL ENVASADO	F	93.20	179,413.85
ROTURA/COSTURA DE FAJAS TRANSPORTADORAS	G	27.58	53,091.50
DÉFICIT DE PERSONAL	H	23.08	44,429.00

Elaboración propia

<sup>12</sup> Tiempos de alistamiento de máquinas para cambiar el tipo de producción. Se denomina cambio de formato cuando se requiere cambiar el molde y limpiar la línea.

Al utilizar un Diagrama de Pareto se concluye que la acumulación de bandejas<sup>13</sup>, la mala calibración y ajustes continuos de las envasadoras, los altos niveles de productos no conformes y las fallas imprevistas de equipos son los problemas que explican el 80% de las pérdidas económicas del proceso; ver figura 2.19.

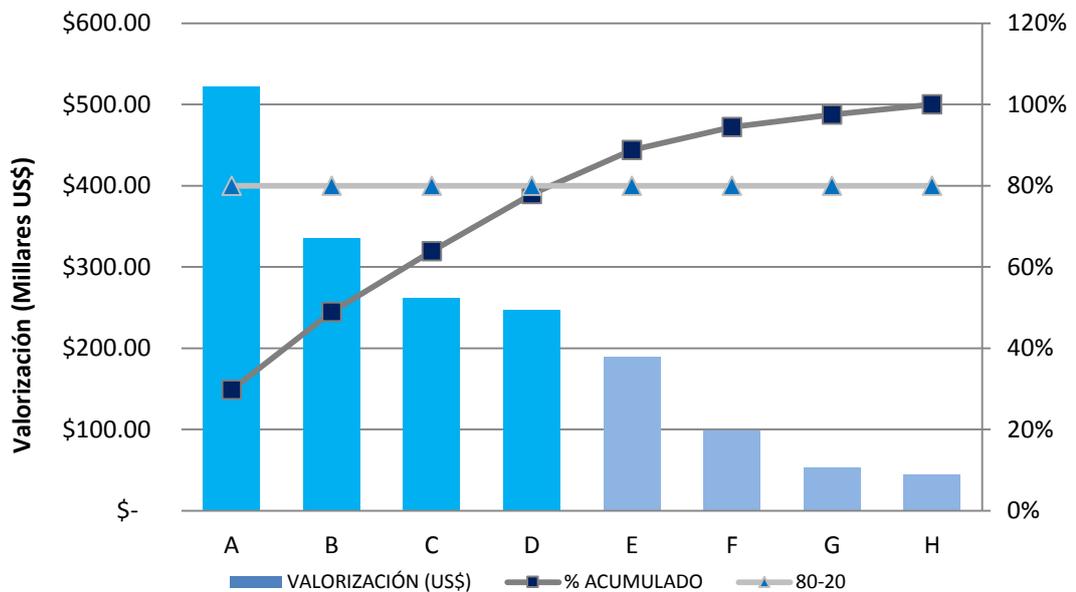


Figura 2.19 Diagrama de Pareto para la priorización de problemas  
Elaboración propia

## 2.2.5 Determinación y priorización de causas

A continuación, se presentan cuatro diagramas de Ishikawa<sup>14</sup> para la determinación de causas de los cuatro principales problemas identificados de la tercera línea de elaboración y envasado de galletas; ver figuras 2.20, 2.21, 2.22 y 2.23.

Luego, se procede a utilizar una matriz de priorización considerando la probabilidad de ocurrencia e impacto de las causas para identificar a las principales; ver tabla 2.12. Cabe mencionar que se han analizado causas afines agrupadas con el fin de alcanzar una solución integral.

<sup>13</sup> Cuando las envasadoras primarias fallan, las galletas que ingresan desde el área de elaboración son almacenadas temporalmente en bandejas puesto que no se detiene el proceso de elaboración. Se procede de la misma manera con los paquetes y packs de galletas cuando las envasadoras secundarias fallan o se detiene el proceso de encajado respectivamente. De esta manera, las paradas de línea debido a la acumulación de bandejas son el tiempo que la elaboración y envasado del siguiente producto espera hasta que se envasen los productos en proceso acumulados durante el proceso productivo anterior.

<sup>14</sup> Diagrama causal, también llamado de causa y efecto, que simplifica el análisis de los problemas.

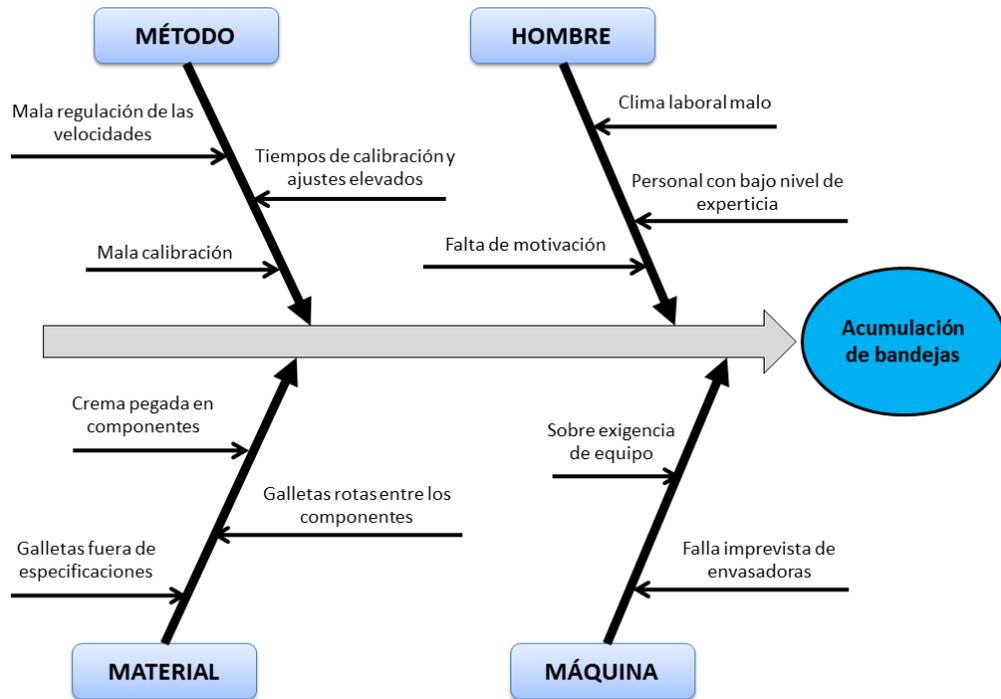


Figura 2.20 Diagrama Ishikawa del primer problema  
Elaboración propia

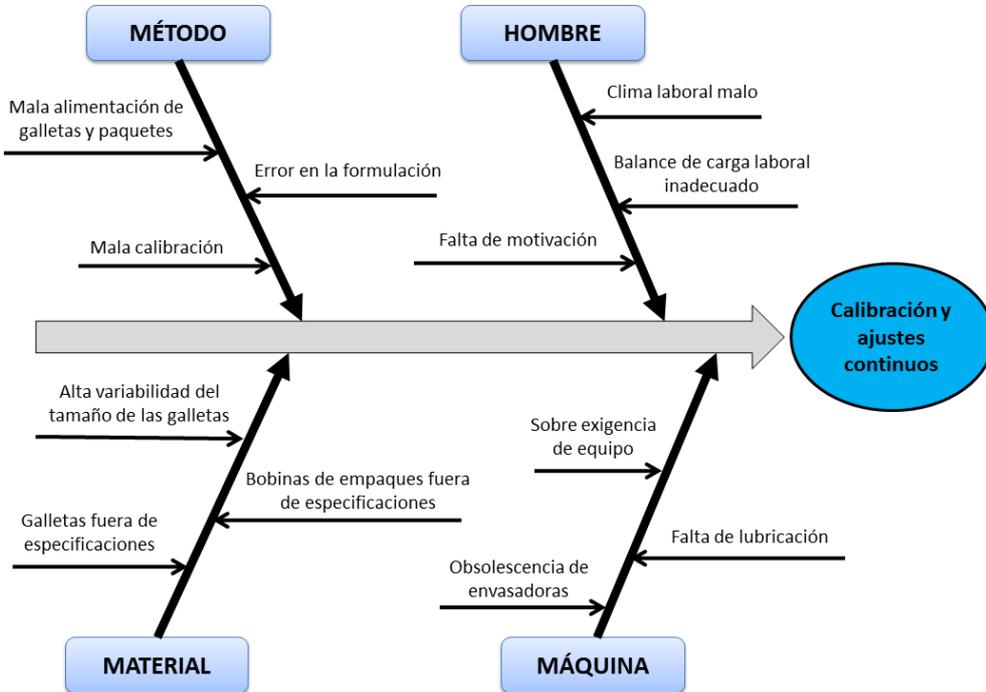


Figura 2.21 Diagrama Ishikawa del segundo problema  
Elaboración propia

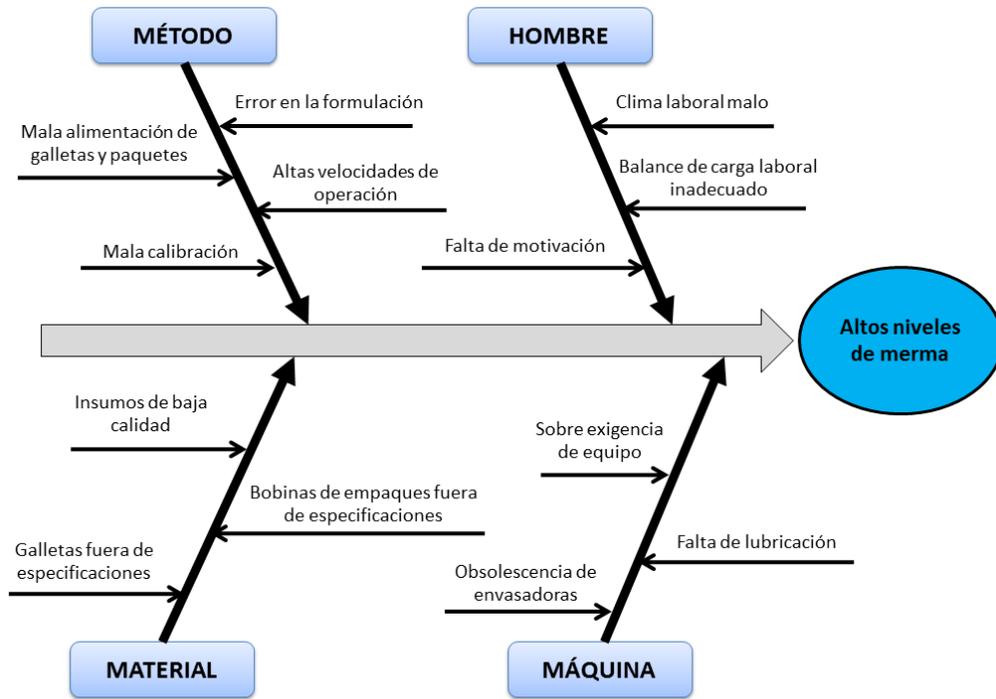


Figura 2.22 Diagrama Ishikawa del tercer problema  
Elaboración propia

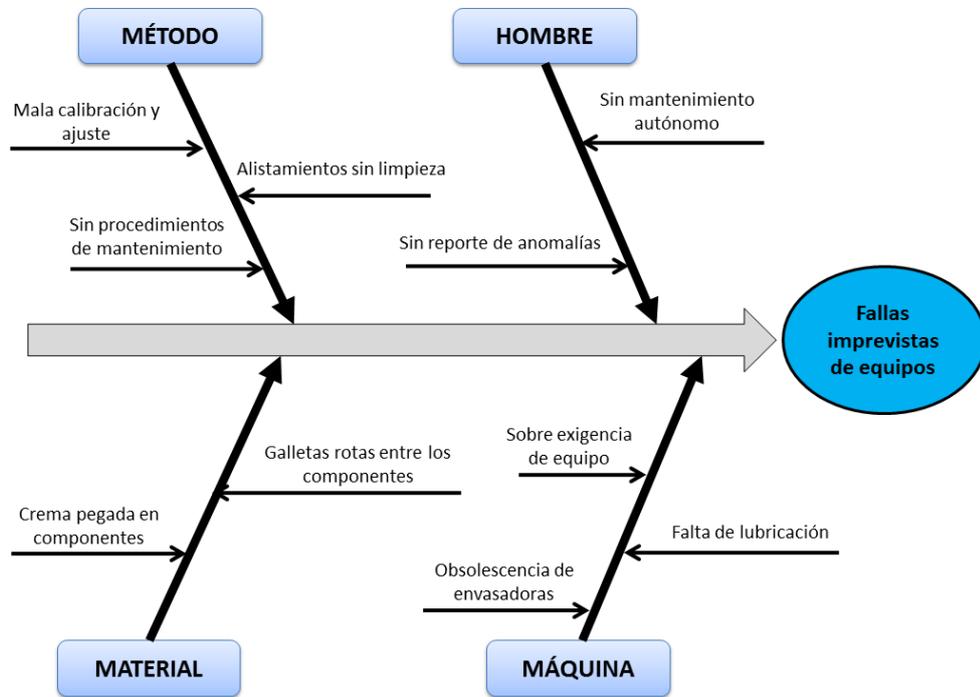


Figura 2.23 Diagrama Ishikawa del cuarto problema  
Elaboración propia

Tabla 2.12 Matriz de priorización de causas

CAUSA	PROBLEMA	PROB. (1-3)	IMPACTO (1-3)	PUNTAJE (1-9)
<b>Mala regulación de las velocidades</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
<b>Personal con bajo nivel de experticia</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
<b>Obsolescencia de envasadoras</b>	<b>2, 3 y 4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
Altas velocidades de operación	3	3	2	6
Mala calibración y ajuste	1, 2, 3 y 4	2	3	6
Crema pegada en componentes	1 y 4	3	2	6
Falla imprevista de envasadoras	1	2	3	6
Mala alimentación de galletas y paquetes	2 y 3	2	3	6
Galletas fuera de especificaciones	1, 2 y 3	2	3	6
Tiempos de calibración y ajustes elevados	1	2	2	4
Alistamientos sin limpieza	4	2	2	4
Sin mantenimiento autónomo	4	2	2	4
Sin reporte de anomalías	4	2	2	4
Galletas rotas entre los componentes	1 y 4	2	2	4
Alta variabilidad del tamaño de las galletas	2	1	3	3
Balance de carga laboral inadecuado	2 y 3	1	3	3
Falta de motivación	1, 2 y 3	1	3	3
Clima laboral malo	1, 2 y 3	1	3	3
Error en la formulación	2 y 3	1	3	3
Bobinas de empaques fuera de especificaciones	2 y 3	1	3	3
Falta de lubricación	2, 3 y 4	1	3	3
Insumos de baja calidad	3	1	3	3
Sin procedimientos de mantenimiento	4	1	3	3
Sobrexigencia de equipo	1, 2, 3 y 4	1	2	2

Elaboración propia

Así, de acuerdo a la matriz de priorización de causas, se concluye que el bajo nivel de experticia de algunos operarios y la mala regulación de las velocidades de operación de las envasadoras son las causas principales de la acumulación de bandejas; mientras que, la obsolescencia de dos de ellas ocasionan altos niveles de productos no conformes y paradas imprevistas en la línea de producción.

### 2.2.6 Análisis de causas

Con el fin de profundizar en el análisis de las causas previamente identificadas se utilizará la herramienta Cinco Por qué<sup>15</sup>. A continuación, se presenta su aplicación.

Las velocidades de envasado se ajustan a criterio de los maquinistas, los cuales priorizan la eficiencia local. Se reducen cuando la velocidad del molde rotativo disminuye por errores de formulación de la masa o desgaste de las fajas transportadoras principalmente; o se elevan cuando se acumulan bandejas de productos en proceso en el ingreso a las envasadoras primarias y secundarias; ver figura 2.24.



Figura 2.24 Aplicación de Cinco Por qué a la primera causa  
Elaboración propia

Por otro lado, la empresa brinda programas de entrenamiento para jóvenes operarios, los cuales trabajan en los puestos de alimentación manual de galletas y paquetes, armado de cajas, encajado y paletizado. De esta manera, la segunda causa principal responde a las variaciones del rendimiento de estas estaciones de trabajo debido al menor nivel de experticia y alta rotación de este tipo de operarios; ver figura 2.25.

<sup>15</sup> Técnica sistemática de preguntas para identificar las causas raíz de los problemas.



Figura 2.25 Aplicación de Cinco Por qué a la segunda causa  
Elaboración propia

Por su lado, la obsolescencia de las envasadoras se da por el insuficiente desempeño que reportan las dos envasadoras primarias más antiguas. Ellas reportan paradas imprevistas por tiempos prolongados debido a la falla de sus componentes, cuyos repuestos importados han sido discontinuados en su mayoría, y generan mayor cantidad de productos no conformes por mala alimentación; ver figura 2.26.

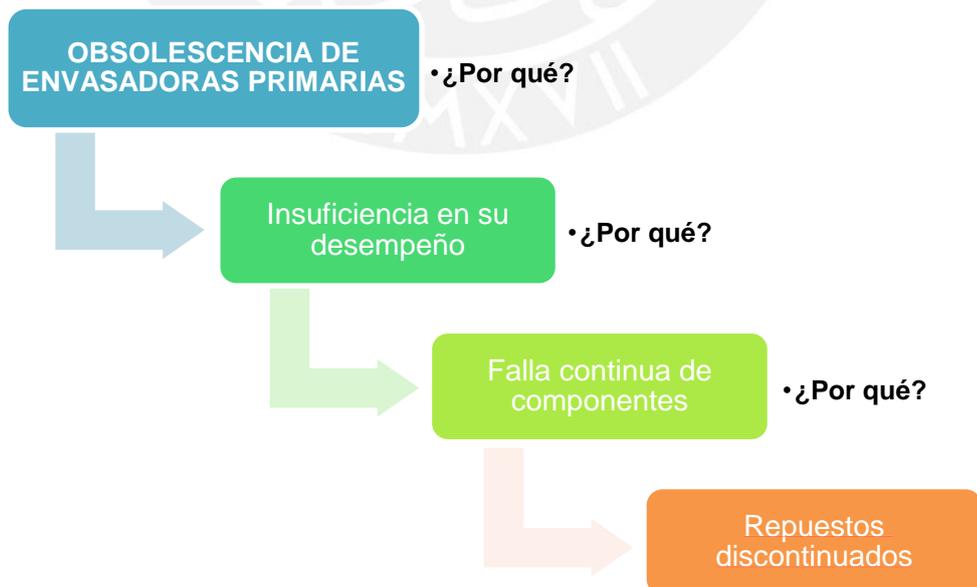


Figura 2.26 Aplicación de Cinco Por qué a la tercera causa  
Elaboración propia

### 2.2.7 Planteamiento de contramedidas

Para evitar la mala regulación de las velocidades de operación de las envasadoras y los efectos de mantener operarios con bajo nivel de experticia en las estaciones de trabajo, los cuales generan paradas de línea debido a la acumulación de bandejas, se proponen tres alternativas de solución:

- Diseñar un balance de línea eficiente donde las velocidades de envasado consideren las fallas operacionales, los focos de generación de productos no conformes en el proceso y la distribución de operarios en entrenamiento.
- Aplicar herramientas de *Lean Manufacturing*<sup>16</sup> para reducir los niveles de inventario en proceso, uno de los ocho tipos de desperdicios de un proceso de manufactura.
- Implementar la metodología *Six Sigma*<sup>17</sup> con el fin de reducir la variabilidad del proceso asegurando especificaciones del material y parámetros operacionales más estables que exijan menos ajustes y permitan trabajar con velocidades de envasado constantes.

Por su lado, con el fin de reducir las calibraciones y ajustes de las envasadoras, reducir los niveles de productos no conformes y evitar las paradas imprevistas prolongadas de equipos debido a la obsolescencia de las envasadoras se proponen dos contramedidas:

- Invertir en la compra y puesta en operación de dos envasadoras primarias que sustituyan a aquellas cuyos equipamientos y componentes presentan continuas fallas y repuestos están discontinuados, previa evaluación económica.
- Fabricar o adaptar equipamientos y componentes del mercado local para reemplazar los importados discontinuados.

A continuación, se utiliza el método de Ranking de Factores para priorizar las contramedidas en ambos casos; ver tablas 2.13 y 2.14.

---

<sup>16</sup> Modelo de gestión o conjunto de herramientas para la identificación y reducción de los ocho tipos de desperdicios en los procesos productivos.

<sup>17</sup> Metodología que utiliza el modelo DMAIC cuya meta es la reducción de la variabilidad del proceso mediante la eliminación y control de causas de los errores y defectos.

Tabla 2.13 Criterios y factores de ponderación FACTIS

CRITERIOS DE SELECCIÓN				FACTOR DE PONDERACIÓN
F	Facilidad para solucionarlo			1
	1: Muy difícil	2: Difícil	3: Fácil	
A	Afecta a otras áreas su implementación			5
	1: Sí	3: Medio	5: Nada	
C	Mejora la calidad			6
	1: Poco	3: Medio	5: Mucho	
T	Tiempo que implica solucionarlo			4
	1: Largo plazo	3: Medio plazo	5: Corto plazo	
I	Inversión requerida			2
	1: Alta	2: Media	3: Medio	
S	Mejora la seguridad industrial			3
	1: Poco	3: Medio	5: Mucho	

Fuente: Aceros Arequipa

Tabla 2.14 Ranking de Factores

	F	A	C	T	I	S	
CONTRAMEDIDAS	Facilidad para solucionar el problema	Implementación afecta otras áreas	Mejora la Calidad	Tiempo de solución	Inversión requerida	Seguridad	TOTAL
Balance de línea eficiente	3	5	1	5	3	1	63
Herramientas de Manufactura Esbelta	2	3	1	3	2	5	54
Implementación de Six Sigma	1	3	5	1	2	1	57
Invertir en dos nuevas envasadoras	2	3	5	3	1	1	64
Fabricar o adaptar componentes	2	3	1	3	3	1	44

Elaboración propia

Finalmente, se concluye que para resolver los principales problemas de la tercera línea de elaboración y envasado de galletas, paradas debido a la acumulación de bandejas, continuas calibraciones y ajustes, altos niveles de merma y las fallas imprevistas de equipos, se debe realizar un balance de línea que priorice la eficiencia general del proceso de envasado e invertir en la compra e implementación de dos nuevas envasadoras que reemplacen a las obsoletas, previa evaluación económica.

## CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA

En este tercer capítulo, se desarrollará la propuesta de mejora para la tercera línea de envasado de galletas dado que en ella se concentran los principales problemas: paradas de línea en el área de elaboración por acumulación de bandejas, productos en proceso al ingreso de las envasadoras; mala calibración y ajustes continuos; altos niveles de productos no conformes; y fallas imprevistas de equipos.

La propuesta de mejora consiste en determinar las velocidades de operación y la distribución de operarios en entrenamiento en el proceso de envasado; asimismo, evaluar la inversión en la compra e implementación de dos nuevas envasadoras primarias. De esta manera, dado que dicha mejora de procesos involucra el manejo de gran cantidad de variables y restricciones, se diseña un modelo de simulación de eventos discretos para el análisis del proceso y toma de decisiones para incrementar su productividad utilizando Arena Simulation Software<sup>18</sup>.

Primero, se analizarán los datos obtenidos del proceso; para luego, desarrollar y validar el modelo de simulación base; y, finalmente, formular y evaluar los nuevos modelos que incluyan las mejoras propuestas.

### 3.1 Análisis de datos

La tercera línea de envasado de galletas puede procesar más de 100 tipos de galletas agrupados en ocho familias de productos. Para el desarrollo del modelo de simulación se ha evaluado el procesamiento de la familia más representativa cuya capacidad de producción real asciende a las 22 toneladas métricas por turno<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> *Software* de simulación de eventos discretos y automatización desarrollado por Systems Modeling y adquirido por Rockwell Automation.

<sup>19</sup> La capacidad teórica es de 26.5 toneladas métricas por turno de ocho horas con una Eficiencia General de los Equipos (OEE) de 83%. Cada *pallet* de producción contiene 150 cajas de ocho *packs* cada una, los cuales contienen ocho paquetes de galletas cada uno.

A partir de los datos obtenidos del proceso se han identificado diecinueve variables para su modelamiento: nueve variables aleatorias, dos proporcionales y ocho determinísticas; ver tabla 3.1.

Además, se utiliza el muestreo estratificado como técnica de muestreo en las poblaciones donde se reconocen subgrupos excluyentes con el fin de minimizar los errores de estimación de medias y totales poblacionales, y proporciones.

Tabla 3.1 Variables para modelamiento

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CÓDIGO	ESTRATIFICACIÓN
Flujo de ingreso de galletas desde elaboración	Determinística	D-1	Sin estratos
Tamaño de grupo de alimentación primaria	Determinística	D-2	Tipo de operario
Tiempo de alimentación primaria	Variable aleatoria	V-1	Tipo de operario
Tamaño de grupo de alimentación secundaria	Determinística	D-3	Tipo de operario
Tiempo de alimentación secundaria	Variable aleatoria	V-2	Tipo de operario
Cantidad de merma generada por mala alimentación	Variable aleatoria	V-3	Tipo de máquina
Fracción de galletas y paquetes mal alimentados	Proporcional	P-1	Tipo de máquina
Fracción natural de defectuosos	Proporcional	P-2	Tipo de máquina
Duración de falla por mala alimentación	Variable aleatoria	V-4	Modelo de máquina
Capacidad de corrección de maquinistas	Determinística	D-4	Sin estratos
Tiempo de corrección del maquinista	Determinística	D-5	Sin estratos
Velocidades de operación de envasadoras	Determinística	D-6	Envasadora
Tiempo entre fallas imprevistas de envasadoras	Variable aleatoria	V-5	Envasadora
Duración de fallas imprevistas de envasadoras	Variable aleatoria	V-6	Envasadora
Tiempo de armado de cajas	Variable aleatoria	V-7	Tipo de operario
Tiempo de encajado	Variable aleatoria	V-8	Tipo de operario
Tiempo de operación de encintadora automática	Determinística	D-7	Modelo de máquina
Tiempo de paletizado por grupo de cajas	Variable aleatoria	V-9	Ubicación en el pallet
Tamaño de grupo de paletización	Determinística	D-8	Sin estratos

Elaboración propia

### 3.1.1 Variable determinística D-1

Una vez horneadas, las galletas son transportadas mediante una faja de enfriamiento hasta la mesa de acomodo del área de envasado, en la cual son distribuidas en 33 filas para facilitar su alimentación manual a las envasadoras primarias.

Se tomaron 30 muestras de todas las filas y se estimó que el flujo de ingreso desde elaboración es de 0.2 segundos por galleta en promedio con una desviación estándar de 0.0147. De esta manera, siendo el coeficiente de variación menor a 10%, 7.34%, no se justifica la generación de una variable aleatoria.

### 3.1.2 Variable determinística D-2

La alimentación manual primaria consiste en que el operario transporte un grupo de galletas desde la faja transportadora hasta el canal de ingreso a las envasadoras utilizando ambas manos. El tamaño de dicho grupo es variable y depende de la experticia del operario; por lo que, para estimar dicha variable se utilizó un muestreo estratificado por tipo de operario: estable, personal contratado por la empresa con vasta experiencia en su puesto, y no estable, jóvenes operarios que pertenecen a programas de capacitación juvenil.

De manera similar que en la variable determinística D-1, se evaluó el coeficiente de variación de ambos estratos y no se justificó la generación de variables aleatorias; ver tabla 3.2.

Tabla 3.2 Variable determinística D-2

ESTRATO	PROMEDIO	DESVIACIÓN	COEF. VARIACIÓN
Estable	79	1.5166	1.93%
No estable	75	2.3805	3.16%

Elaboración propia

### 3.1.3 Variable aleatoria V-1

El tiempo de alimentación primaria también depende de la experticia de los operarios; por lo que, se utilizan los mismos estratos que en la variable determinística D-2. En ellos, debido a que sus coeficientes de variación son superiores a 10%, se justifica la generación de variables aleatorias. Por lo tanto, se requiere calcular los tamaños de muestra adecuados a utilizar para identificar las distribuciones de probabilidad que las expliquen.

Para ello, se consideran poblaciones de 32,921 y 11,460 datos para los estratos de operarios estables y no estables respectivamente, estimadas a partir del número de galletas procesadas en un turno normal de trabajo de ocho horas y los tamaños promedio de los grupos de alimentación de galletas; la cantidad de operarios por estrato, seis y dos respectivamente; un límite para el error de estimación de 0.266; y las medias y desviaciones muestrales. Ver tabla 3.3.

Tabla 3.3 Variable aleatoria V-1

ESTRATOS	N	B	D	$S_h=s$	Media	C.V.	n	$n_h$ ajustado
Estable	32921	0.266	0.018	0.95	3.14	30%	43.6586	36
No estable	11460			0.66	3.64	18%		9

Elaboración propia

Luego, se ingresan conjuntos de datos al Input Analyzer<sup>20</sup> de acuerdo a los tamaños de muestra ajustados calculados de cada estrato para identificar las distribuciones de probabilidad que expliquen el comportamiento de ambas variables aleatorias; los resultados se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Distribuciones de probabilidad V-1

ESTRATOS	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
Estable	Lognormal	$1.14 + \text{LOGN}(1.74, 1.14)$	0.012523	< 0.005	> 0.15
No estable	Beta	$2.19 + 3.72 * \text{BETA}(0.558, 0.705)$	0.008222	-	> 0.15

Elaboración propia

<sup>20</sup> Herramienta de Arena Simulation Software para el análisis de datos de entrada.

En ambos estratos, como en al menos una de las pruebas de bondad de ajuste no se rechaza la hipótesis nula, los datos siguen la distribución de la variable aleatoria propuesta por tener un p-value mayor a 0.05, nivel de significancia<sup>21</sup>, se valida la aproximación de las distribuciones de frecuencias observadas a las distribuciones teóricas propuestas.

### 3.1.4 Variable determinística D-3

La alimentación manual secundaria consiste en que el operario transporte un grupo de paquetes de galletas desde la faja transportadora hasta los canales que alimentan las envasadoras secundarias.

En este caso, el análisis de datos se da de manera similar que en la variable determinística D-2, tamaño de grupo de alimentación primaria, y tampoco se justifica la generación de variables aleatorias por sus bajos coeficientes de variación; ver tabla 3.5.

Tabla 3.5 Variable determinística D-3

ESTRATO	PROMEDIO	DESVIACIÓN	COEF. VARIACIÓN
Estable	16	0.4068	2.57%
No estable	15	0.5074	3.28%

Elaboración propia

### 3.1.5 Variable aleatoria V-2

El procedimiento de análisis de datos para el tiempo de alimentación secundario es similar al de la variable aleatoria V-1, tiempo de alimentación primario. Los estratos que se consideran son los mismos, operarios estables y no estables; y sus coeficientes de variación, 21% y 25% respectivamente, justifican la generación de variables aleatorias.

Para el cálculo de los tamaños de muestra se consideran poblaciones de 20,477 y 6,973 datos para los estratos de operarios estables y no estables respectivamente, estimadas a partir del número de paquetes de galletas

<sup>21</sup> Riesgo de cometer un error de tipo I, rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) cuando es cierta.

procesados, el número de galletas por paquete, y los tamaños promedio de los grupos de alimentación de paquetes; la cantidad de operarios por estrato, seis y dos respectivamente; un límite para el error de estimación de 0.176; y las medias y desviaciones muestrales. Ver tabla 3.6.

Tabla 3.6 Variable aleatoria V-2

ESTRATOS	N	B	D	$S_h=s$	Media	C.V.	n	$n_h$ ajustado
Estable	20477	0.176	0.008	0.62	2.89	21%	46.9843	36
No estable	6973			0.56	2.25	25%		12

Elaboración propia

Luego de ingresar los datos al Input Analyzer, en ambos estratos, como en al menos una de las pruebas de bondad de ajuste no se rechaza la hipótesis nula, los datos siguen la distribución de la variable aleatoria propuesta, dado que los valores de p-value son mayores a 0.05, se valida la aproximación de las distribuciones de frecuencias observadas a las distribuciones teóricas propuestas; ver tabla 3.7.

Tabla 3.7 Distribuciones de probabilidad para la variable V-2

ESTRATOS	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
Estable	Gamma	$2 + \text{GAMM}(0.28, 3.11)$	0.003283	< 0.005	> 0.15
No estable	Weibull	$1.41 + \text{WEIB}(1.2, 1.71)$	0.017345	-	> 0.15

Elaboración propia

### 3.1.6 Variable aleatoria V-3

La alimentación de galletas y paquetes son realizadas por operarios y dependen del nivel de experticia, carga de trabajo y resistencia a las operaciones repetitivas; por eso, en ciertas ocasiones, las envasadoras fallan debido al atascamiento de productos mal alimentados entre sus componentes.

Con el fin de estimar la cantidad de productos no conformes generada en cada falla por la mala alimentación de productos se ha aplicado la técnica de

juicio de expertos<sup>22</sup> considerando una estratificación por tipo de máquina, en la cual se han agrupado las envasadoras con modelos afines; ver tabla 3.8.

Tabla 3.8 Juicio de expertos para la variable V-3

ESTRATO	ENVASADORAS	TIPO DE MÁQUINA	EXPERTO	MÍNIMO (paquetes)	PROMEDIO (paquetes)	MÁXIMO (paquetes)
Estrato 1	C8 - C9	Peters + Bosch Doboy Linium 611	A	4	6	12
			B	8	8	15
Estrato 2	A1 - A2	Peters + Rose Forgrove	C	11	12	15
			D	10	15	20
Estrato 3	C10 - A3	Bosh Doboy Pack 201	E	1	6	8
		SIG	F	1	3	5

Elaboración propia

A partir de los datos de la tabla 3.8 se construyen distribuciones de probabilidad triangulares que describan las variaciones en el número de productos no conformes en cada estrato debido a la mala alimentación; ver tabla 3.9.

Tabla 3.9 Cantidad de productos no conformes debido a mala alimentación

ESTRATO	MÍNIMO (paquetes)	PROMEDIO (paquetes)	MÁXIMO (paquetes)	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
Estrato 1	6	7	14	Triangular	TRIA(6,7,13.5)
Estrato 2	11	14	18	Triangular	TRIA(10.5,13.5,17.5)
Estrato 3	1	5	7	Triangular	TRIA(1,4.5,6.5)

Elaboración propia

### 3.1.7 Variable proporcional P-1

Para estimar la fracción de galletas y paquetes mal alimentados se ha aplicado la técnica de juicio de expertos considerando una estratificación por tipo de máquina.

En la tabla 3.10, se muestran los tiempos entre fallas mínimos, promedios y máximos de las envasadoras debido al procesamiento de galletas mal alimentadas estimados por los expertos del proceso.

<sup>22</sup> Técnica que evalúa las opiniones de expertos basadas en experiencia y conocimiento.

Tabla 3.10 Juicio de expertos para la variable P-1

ESTRATO	ENVASADORAS	TIPO DE MÁQUINA	EXPERTO	MÍNIMO (minutos)	PROMEDIO (minutos)	MÁXIMO (minutos)
Estrato 1	C8 - C9	Peters + Bosch Doboy Linium 611	A	30	90	210
			B	15	45	120
Estrato 2	A1 - A2	Peters + Rose Forgrove	C	12	20	30
			D	10	60	120
Estrato 3	C10 - A3	Bosh Doboy Pack 201	E	10	20	60
		SIG	F	20	30	60

Elaboración propia

Con los resultados de la tabla 3.10 se estiman las fracciones de galletas mal alimentadas de cada estrato considerando un volumen de procesamiento de 431,373 paquetes de galletas en un turno normal de trabajo de ocho horas y las cantidades promedio de productos no conforme debido a la mala alimentación de productos por tipo de máquina; finalmente, se construyen distribuciones de probabilidad triangulares con las fracciones estimadas como parámetros. Ver tabla 3.11.

Tabla 3.11 Fracciones de galletas y paquetes mal alimentados

ESTRATO	MÍNIMO (%)	PROMEDIO (%)	MÁXIMO (%)	DISTRIBUCIÓN
Estrato 1	0.00370909%	0.00865455%	0.02596364%	Triangular TRIA(mín,promedio,máx)
Estrato 2	0.01251818%	0.03338182%	0.10014545%	
Estrato 3	0.01669091%	0.02503636%	0.04172727%	

Elaboración propia

### 3.1.8 Variable proporcional P-2

La fracción natural de defectuosos se refiere a la cantidad de productos no conformes que son evacuados automáticamente de la línea de envasado, envasadoras primarias, por el sistema de sensores, controladores y actuadores del proceso sin que este se detenga. Para su estimación se han considerado los tiempos entre evacuaciones, la cantidad de productos retirados del proceso, una tasa promedio de envasado de 15 paquetes por segundo y dos estratos: envasadoras C8 y C9, modelo combinado de Peters y Bosch Doboy Linium 611, y las envasadoras A1 y A2, modelo combinado

de Peters y Rose Forgrove, cuyos equipamientos y componentes presentan continuas fallas y repuestos están discontinuados.

En ambos casos, las fracciones de productos no conformes se estiman en 0.2838% y 0.0438% para el primer y segundo estrato respectivamente a partir de las muestras tomadas inicialmente; por lo que, no se justifica un recalcu de del tamaño de muestra ni un análisis más detallado.

Por su lado, la fracción natural de defectuosos en las envasadoras secundarias no es significativa, menor que la estimada en las envasadoras primarias, y no será considerada.

### 3.1.9 Variable aleatoria V-4

Cuando una envasadora falla debido al atascamiento de productos mal alimentados entre sus componentes, el tiempo de duración de falla depende de la complejidad de los ajustes que debe realizar el maquinista, y estos a su vez de las especificaciones técnicas del equipo. Por ello, se realiza la técnica de juicio de expertos considerando un muestreo estratificado por modelo de máquina; ver tabla 3.12.

Tabla 3.12 Juicio de expertos para la variables V-4

ESTRATOS	ENVASADORAS	MODELO DE MÁQUINA	EXPERTO	MÍNIMO (minutos)	PROMEDIO (minutos)	MÁXIMO (minutos)
Estrato 1	C8 - C9	Peters + Bosch Doboy Linium 611	A	3.0	5.0	15.0
			B	0.5	2.0	5.0
Estrato 2	A1 - A2	Peters + Rose Forgrove	C	0.5	2.0	15.0
			D	0.5	5.0	8.0
Estrato 3	C10	Bosh Doboy Pack 201	E	0.4	0.4	0.5
Estrato 4	A3	SIG	F	1.0	2.0	3.0

Elaboración propia

A partir de los datos de la tabla 3.12 se construyen distribuciones de probabilidad triangulares que describan las variaciones en los tiempos de atención, duración de falla, en cada estrato debido a la mala alimentación; ver tabla 3.13.

Tabla 3.13 Duración de fallas por la mala alimentación de productos

ESTRATO	MÍNIMO (minutos)	PROMEDIO (minutos)	MÁXIMO (minutos)	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
Estrato 1	1.8	3.5	10.0	Triangular	TRIA(1.75,3.5,10)
Estrato 2	0.5	3.5	11.5	Triangular	TRIA(0.5,3.5,11.5)
Estrato 3	0.4	0.4	0.5	Triangular	TRIA(0.4,0.4,0.5)
Estrato 4	1.0	2.0	3.0	Triangular	TRIA(1,2,3)

Elaboración propia

### 3.1.10 Variable determinística D-4

En el envasado secundario, mientras los paquetes de galletas mal alimentados son transportados por los canales de ingreso a la envasadora, el maquinista puede retirarlos por las bajas velocidades de envasado para evitar su procesamiento, y así atascamientos. Se ha estimado la capacidad promedio de corrección del maquinista en 36 unidades consecutivas con una desviación estándar de 0.6261. Además, siendo un coeficiente de variación de 1.76% no se justifica la generación de una variable aleatoria.

### 3.1.11 Variable determinística D-5

Esta variable se refiere al tiempo que tarda el maquinista en corregir una unidad de producto, paquete de galletas, antes de que sea procesada por la envasadora secundaria.

Se tomaron 30 muestras y se estimó que el tiempo promedio de corrección es de 0.22 segundos por paquete de galletas con una desviación estándar de 0.0105 y un coeficiente de variación de 4.76%, el cual no justifica la generación de una variable aleatoria.

### 3.1.12 Variable determinística D-6

Las velocidades de operación de las envasadoras se mantienen casi constantes; sin embargo, se reducen cuando la velocidad del molde rotativo<sup>23</sup> se reduce de 17 a 14.5 vueltas por minuto<sup>24</sup>, 462 galletas menos por vuelta, debido a errores en la formulación de la masa o desgaste de las

<sup>23</sup> El molde rotativo, ubicado en la línea de elaboración, consta de 14 columnas y 33 filas.

<sup>24</sup> Esta reducción genera una disminución de 15% del volumen de producción potencial por turno de ocho horas.

fajas transportadoras principalmente; o se elevan cuando se acumulan entre 10 y 15 bandejas de galletas<sup>25</sup> en el ingreso a las envasadoras primarias y entre 20 y 30 bandejas de paquetes de galletas<sup>26</sup> en el de las secundarias; ver tabla 3.14.

Tabla 3.14 Juicio de expertos para la variable D-6

ENVASADORAS	MÍNIMO (unidades/min) Frecuencia: 15%	PROMEDIO (unidades/min) Frecuencia: 70%	MÁXIMO (unidades/min) Frecuencia: 15%
C8	300	310	340
C9	300	340	370
A1	310	315	320
A2	300	325	350
C10	110	115	116
A3	100	105	110

Elaboración propia

### 3.1.13 Variable aleatoria V-5

Los tiempos entre fallas imprevistas de las envasadoras se estiman a partir de la información desde enero a octubre del 2013 extraída del ERP<sup>27</sup> de la empresa.

Las envasadoras C8, C9 y C10 reportan tiempos entre fallas imprevistas de equipos de 4,043, 3,616.3 y 0.00 horas en promedio. Por su lado, las envasadoras primarias A1 y A2 y la secundaria A3 presentan fallas con mayor frecuencia debido a su obsolescencia; por ello, se ingresan los datos históricos al Input Analyzer para evaluar la aproximación de las distribuciones de frecuencias observadas a las teóricas; ver tabla 3.15.

Sin embargo, dado que ninguna de las pruebas de bondad de ajuste reportan un p-value mayor a 0.05, se rechazan las hipótesis nulas, los datos siguen la distribución de la variable aleatoria propuesta, y se opta por utilizar distribuciones empíricas sugeridas por el Input Analyzer; ver tabla 3.16.

<sup>25</sup> Cada bandeja consta de cuatro niveles de ocho filas cada uno, 2464 galletas en promedio por bandeja.

<sup>26</sup> Cada bandeja consta de tres niveles de tres filas cada uno, 135 paquetes en promedio por bandeja.

<sup>27</sup> Enterprise Resource Planning, sistema de información que permite una administración integral de varios procesos, áreas de la empresa y sus actividades.

Tabla 3.15 Evaluación de distribuciones de probabilidad para la variable V-5

MÁQUINA	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
A1	Exponencial	21 + EXPO(378)	0.005284	-	< 0.001
A2	Beta	20 + 1.4e+003 * BETA(0.0405, 0.36)	0.004336	< 0.005	< 0.01
A3	Beta	790 + 2.45e+003 * BETA(0.172, 0.146)	0.220499	-	< 0.01

Elaboración propia

Tabla 3.16 Distribuciones empíricas para la variable V-5

ENVASADORA	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
A1	Empírica	CONT(0,21,0.882,988.8,0.941,1956,0.96067,2924,0.98033,3892.2,1,4860)
A2	Empírica	CONT(0,20,0.867,252.667,0.8890,485.333,0.8899,718,0.911,950.667,0.956,1183.333,1,1416)
A3	Empírica	CONT(0,790,0.333,1280,0.4995,1770,0.666,2260,0.8325,2750,1,3240)

Elaboración propia

### 3.1.14 Variable aleatoria V-6

La duración de las fallas imprevistas de equipos de las envasadoras C8, C9 y C10 son 0.33, 0.915 y 0.00 horas en promedio respectivamente; mientras que, para las envasadoras A1, A2 y A3 se requiere generar variables aleatorias; de esta manera, se ingresan sus datos históricos al Input Analyzer para evaluar la aproximación de las distribuciones de frecuencias observadas a las teóricas.

Para las envasadoras A1 y A3, como en al menos una de las pruebas de bondad de ajuste no se rechaza la hipótesis nula, p-value mayor a 0.05, se valida la aproximación de las distribuciones de frecuencias observadas a las distribuciones teóricas propuestas; ver tabla 3.17.

No obstante, se opta por una distribución de probabilidad empírica continua para los tiempos de duración de falla de la envasadora A2, ver tabla 3.18; ya que, en la prueba de bondad de ajuste, la distribución propuesta obtuvo un p-value de 0.036, menor al nivel de significancia.

Tabla 3.17 Distribuciones de probabilidad para la variable V-6

MÁQUINA	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
A1	Uniforme	UNIF(0.3,2.7)	0.135640	-	0.0842
A2	Beta	0.02 + 2.71*BETA(1.42,0.901)	0.034335	0.0225	0.036
A3	Beta	2.74 + BETA(0.0287,0.0477)	0.034768	-	> 0.15

Elaboración propia

Tabla 3.18 Distribuciones empíricas para la variable V-6

ENVASADORA	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
A2	Empírica	CONT(0,0.02,0.067,0.472,0.178,0.923,0.333,1.375,0.4,1.827,0.756,2.278,1,2.73)

Elaboración propia

### 3.1.15 Variable aleatoria V-7

Para el análisis de los tiempos de armado de cajas se consideran dos estratos: operarios estables y no estables, cuyos coeficientes de variación 23% y 17% respectivamente justifican la generación de variables aleatorias.

Mientras que, para el cálculo de los tamaños de muestra se consideran poblaciones de 4,493 datos para cada estrato, estimadas a partir del número de cajas requeridas en promedio en un turno normal de ocho horas; la cantidad de operarios por estrato, uno en cada estrato; un límite para el error de estimación de 0.132; y las medias y desviaciones muestrales. Ver tabla 3.19.

Tabla 3.19 Variable aleatoria V-7

ESTRATOS	N	B	D	Sh=s	Media	C.V.	n	n <sub>h</sub> ajustado
Estable	4493	0.132	0.004	0.53	2.30	23%	59.9184	32
No estable	4493			0.49	2.88	17%		29

Elaboración propia

Luego, se ingresan los datos al Input Analyzer de cada estrato de acuerdo a los tamaños de muestra ajustados calculados previamente y se valida la

aproximación de las distribuciones de frecuencias observadas a las distribuciones teóricas propuestas.

En el estrato de operarios estables, en la prueba de bondad de ajuste, no se rechaza la hipótesis nula y se valida el uso de la distribución teórica propuesta; ver tabla 3.20. Sin embargo, en el otro estrato, se opta por utilizar una distribución de probabilidad empírica continua; ver tabla 3.21.

Tabla 3.20 Distribuciones de probabilidad para la variable V-7

ESTRATOS	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
Estable	Uniforme	UNIF(1.25,3)	0.028516	0.351	> 0.15
No estable	Exponencial	2.03 + EXPO(0.687)	0.032830	0.0227	0.0385

Elaboración propia

Tabla 3.21 Distribuciones empíricas para la variable V-7

ENVASADORA	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
No estable	Empírica	CONT(0,2.03,0.483,2.424,0.621,2.818,0.897,3.212,0.966,3.606,1,4)

Elaboración propia

### 3.1.16 Variable aleatoria V-8

El análisis de los tiempos de encajado se da de manera similar al de la variable aleatoria V-7. Se consideran los mismos estratos; las poblaciones se estima a partir del número de cajas procesadas en un turno normal de ocho horas y la cantidad de operarios en cada estrato, cuatro y dos respectivamente; y se justifica la generación de variables aleatorias, ambos coeficientes de variación son de 16%. Ver tabla 3.22.

En ambos estratos, como en al menos una de las pruebas de bondad de ajuste no se rechaza la hipótesis nula, los datos siguen la distribución de la variable aleatoria propuesta, por tener un p-value mayor a 0.05; ver tabla 3.23.

Tabla 3.22 Variable aleatoria V-8

ESTRATOS	N	B	D	S <sub>h</sub> =s	Media	C.V.	n	n <sub>h</sub> ajustado
Estable	5991	0.289	0.021	1.04	6.61	16%	55.3445	36
No estable	2996			1.15	7.16	16%		20

Elaboración propia

Tabla 3.23 Distribuciones de probabilidad para la variable V-8

ESTRATOS	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
Estable	Lognormal	4.53 + LOGN(1.92,1.12)	0.009443	< 0.005	> 0.15
No estable	Beta	5.52 + 3.36*BETA(1.5,1.25)	0.014177	< 0.005	> 0.15

Elaboración propia

### 3.1.17 Variable determinística D-7

Las velocidades de operación de las máquinas encintadoras<sup>28</sup>, dada en segundos por caja, dependen de su modelo. Se definieron dos estratos cuyos coeficientes de variación no justificaron la generación de variables aleatorias, 1.93% y 3.68% respectivamente; ver tabla 3.24.

Tabla 3.24 Variable determinística D-7

MODELO	PROMEDIO	DESVIACIÓN	COEF. VARIACIÓN
Antiguo	2.5	0.0490	1.93%
Moderno	2.0	0.0730	3.68%

Elaboración propia

### 3.1.18 Variable aleatoria V-9

Para el análisis de esta variable cada *pallet* de cajas de productos terminados es dividido imaginariamente en cuatro cuadrantes: cuadrantes A y B, ubicados próximos a la ubicación inicial del operario en el nivel superior e inferior respectivamente; y cuadrantes C y D, ubicados fuera del alcance inmediato del operario en el nivel inferior y superior respectivamente. De esta manera, los tiempos de paletizado son agrupados y analizados de acuerdo al cuadrante donde fueron las cajas ubicadas.

<sup>28</sup> Máquina que se encargan de aplicar cinta adhesiva en la parte superior o inferior de las cajas.

Por otro lado, para el cálculo de los tamaños de muestra se consideran poblaciones de 2,247 datos para cada estrato, estimadas a partir del número de *pallets* producidos en un turno normal de ocho horas, 60 *pallets* en promedio de 150 cajas cada uno; un límite para el error de estimación de 0.083; y las medias y desviaciones muestrales. Ver tabla 3.25.

Tabla 3.25 Variable aleatoria V-9

ESTRATOS	N	B	D	Sh=s	Media	C.V.	n	nh ajustado
Cuadrante A	2247	0.083	0.002	0.37	3.68	10%	118.2775	24.2037
Cuadrante B	2247			0.46	4.71	10%		30.1550
Cuadrante C	2247			0.45	6.25	7%		29.6818
Cuadrante C	2247			0.52	7.26	7%		34.2370

Elaboración propia

Las aproximaciones de las distribuciones de frecuencias observadas a las distribuciones teóricas propuestas son validadas en todos los cuadrantes, ver tabla 3.26, a excepción del cuadrante A, donde se opta por utilizar una distribución empírica continua; ver tabla 3.27.

Tabla 3.26 Distribuciones de probabilidad para la variable V-9

ESTRATOS	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
				Chi Cuadrado	K.S.
Cuadrante A	Beta	$3 + 1.21 * \text{BETA}(0.987, 0.878)$	0.129498	< 0.005	0.0159
Cuadrante B	Beta	$4 + 1.42 * \text{BETA}(0.617, 0.618)$	0.017864	< 0.005	> 0.15
Cuadrante C	Beta	$5.48 + 1.44 * \text{BETA}(1.16, 1.08)$	0.020235	0.215	> 0.15
Cuadrante C	Lognormal	$6 + \text{LOGN}(1.27, 0.567)$	0.000427	< 0.005	> 0.15

Elaboración propia

Tabla 3.27 Distribuciones empíricas para la variable V-9

ENVASADORA	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
Cuadrante A	Empírica	CONT(0,2.999,0.24,3.241,0.32,3.483,0.32,3.726,0.85,3.968,1,4.210)

Elaboración propia

### 3.1.19 Variable determinística D-8

Los operarios agrupan y paletizan entre dos y cuatro cajas por vez. Dicho tamaño de grupo se ha analizado para identificar una distribución de probabilidad teórica que represente sus frecuencias observadas.

Para ello, se calculó un tamaño de muestra de 43 datos considerando una población de 8,987 datos, cantidad promedio de cajas procesadas en un turno de ocho horas; un error permisible de 5%; y las medias y desviaciones muestrales; para luego, ingresar los datos al Input Analyzer, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.28.

Tabla 3.28 Distribuciones de probabilidad para la variable D-8

DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR CUADRÁTICO	BONDAD DE AJUSTE (p-value)	
			Chi Cuadrado	K.S.
Normal	NORM(2.81,0.494)	0.006363	< 0.005	-

Elaboración propia

Sin embargo, la prueba de bondad de ajuste reportó un p-value inferior al nivel de significancia; por lo que, se opta por utilizar una distribución empírica discreta; ver tabla 3.29.

Tabla 3.29 Distribuciones empíricas para la variable D-8

DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN
Empírica	DISC(0,1.5,0.233,2.5,0.953,3.5,1,4.5)

Elaboración propia

Finalmente, los resultados de la etapa de análisis de datos son presentados en las tablas 3.30, 3.31 y 3.32: distribuciones de probabilidad teóricas y empíricas de las variables aleatorias, fracciones de las variables proporcionales y valores predecibles de las variables determinísticas para el desarrollo del modelo de simulación; y en las que se incluyen los anexos de referencia para cada variable.

Tabla 3.30 Resultados del análisis de datos de variables aleatorias

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CÓDIGO	ANEXO	ESTRATIFICACIÓN	EXPRESIÓN	UNIDADES	
Tiempo de alimentación primaria	Variable aleatoria	V-1	03	Tipo de operario	Estable	$1.14 + \text{LOGN}(1.74, 1.14)$	segundos/grupo
					No estable	$2.19 + 3.72 * \text{BETA}(0.558, 0.705)$	
Tiempo de alimentación secundaria	Variable aleatoria	V-2	05	Tipo de operario	Estable	$2 + \text{GAMM}(0.28, 3.11)$	segundos/grupo
					No estable	$1.41 + \text{WEIB}(1.2, 1.71)$	
Cantidad de merma generada por mala alimentación	Variable aleatoria	V-3	-	Tipo de máquina	C8 - C9	$\text{TRIA}(6, 7, 13.5)$	paquetes
					A1 - A2	$\text{TRIA}(10.5, 13.5, 17.5)$	
					C10 - A3	$\text{TRIA}(1, 4.5, 6.5)$	
Duración de falla por mala alimentación	Variable aleatoria	V-4	-	Modelo de máquina	C8 - C9	$\text{TRIA}(1.75, 3.5, 10)$	minutos
					A1 - A2	$\text{TRIA}(0.5, 3.5, 11.5)$	
					C10	$\text{TRIA}(0.4, 0.4, 0.5)$	
					A3	$\text{TRIA}(1, 2, 3)$	
Tiempo entre fallas imprevistas de envasadoras	Variable aleatoria	V-5	09	Envasadora	C8	4043.00	horas
					C9	3616.33	
					A1	$\text{CONT}(0, 21, 0.882, 988.8, 0.941, 1956, 0.96067, 2924, 0.98033, 3892.2, 1, 4860)$	
					A2	$\text{CONT}(0, 20, 0.867, 252.667, 0.8890, 485.333, 0.8899, 718, 0.911, 950.667, 0.956, 1183.333, 1, 1416)$	
					C10	0.00	
					A3	$\text{CONT}(0, 790, 0.333, 1280, 0.4995, 1770, 0.666, 2260, 0.8325, 2750, 1, 3240)$	
Duración de fallas imprevistas de envasadoras	Variable aleatoria	V-6	10	Envasadora	C8	0.33	horas
					C9	0.92	
					A1	$\text{UNIF}(0.3, 2.7)$	
					A2	$\text{CONT}(0, 0.02, 0.067, 0.472, 0.178, 0.923, 0.333, 1.375, 0.4, 1.827, 0.756, 2.278, 1, 2.73)$	
					C10	0.00	
					A3	$2.74 + \text{BETA}(0.0287, 0.0477)$	
Tiempo de armado de cajas	Variable aleatoria	V-7	11	Tipo de operario	Estable	$\text{UNIF}(1.25, 3)$	segundos
					No estable	$\text{CONT}(0, 2.03, 0.483, 2.424, 0.621, 2.818, 0.897, 3.212, 0.966, 3.606, 1, 4)$	
Tiempo de encajado	Variable aleatoria	V-8	12	Tipo de operario	Estable	$4.53 + \text{LOGN}(1.92, 1.12)$	segundos
					No estable	$5.52 + 3.36 * \text{BETA}(1.5, 1.25)$	
Tiempo de paletizado por grupo de cajas	Variable aleatoria	V-9	14	Ubicación en el pallet	Cuadrante A	$\text{CONT}(0, 2.999, 0.24, 3.241, 0.32, 3.483, 0.32, 3.726, 0.85, 3.968, 1, 4.210)$	segundos
					Cuadrante B	$4 + 1.42 * \text{BETA}(0.617, 0.618)$	
					Cuadrante C	$5.48 + 1.44 * \text{BETA}(1.16, 1.08)$	
					Cuadrante D	$6 + \text{LOGN}(1.27, 0.567)$	

Elaboración propia

Tabla 3.31 Resultados del análisis de datos de variables proporcionales

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CÓDIGO	ANEXO	ESTRATIFICACIÓN	ESTRATOS	EXPRESIÓN	UNIDADES
Fracción de galletas y paquetes mal alimentados	Proporcional	P-1	-	Tipo de máquina	C8 - C9	TRIA(0.00003709,0.00008655,0.00025964)	porcentaje
					A1 - A2	TRIA(0.00012518,0.00033382,0.00100145)	
					C10 - A3	TRIA(0.00016691,0.00025036,0.00041727)	
Fracción natural de defectuosos	Proporcional	P-2	06	Tipo de máquina	C8 - C9	0.00283797	porcentaje
					A1 - A2	0.00043832	
					C10 - A3	0.00	

Elaboración propia

Tabla 3.32 Resultados del análisis de datos de variables determinísticas

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CÓDIGO	ANEXO	ESTRATIFICACIÓN	ESTRATOS	EXPRESIÓN	UNIDADES
Flujo de ingreso de galletas desde elaboración	Determinística	D-1	01	Sin estratos	Único	0.2	segundos/galleta
Tamaño de grupo de alimentación primaria	Determinística	D-2	02	Tipo de operario	Estable	79	galletas/grupo
					No estable	75	
Tamaño de grupo de alimentación secundaria	Determinística	D-3	04	Tipo de operario	Estable	16	paquetes/grupo
					No estable	15	
Capacidad de corrección de maquinistas	Determinística	D-4	07	Sin estratos	Único	36	paquetes
Tiempo de corrección del maquinista	Determinística	D-5	08	Sin estratos	Único	0.22	segundos/paquete
Velocidades de operación de envasadoras	Determinística	D-6	-	Envasadora	C8	300 - 310 - 340	paquetes/minuto
					C9	300 - 340 - 370	
					A1	310 - 315 - 320	
					A2	300 - 325 - 350	packs/minuto
					C10	110 - 115 - 116	
A3	100 - 105 - 110						
Tiempo de operación de encintadora automática	Determinística	D-7	13	Modelo de máquina	Modelo antiguo	2.50	segundos/caja
					Modelo moderno	2.00	
Tamaño de grupo de paletización	Determinística	D-8	15	Sin estratos	Único	DISC(0,1.5,0.233,2.5,0.953,3.5,1,4.5)	cajas/grupo

Elaboración propia

### 3.1.20 Fajas transportadoras

Además del análisis de las variables aleatorias, proporcionales y determinísticas, se consideran las especificaciones técnicas de las fajas transportadoras para el modelamiento de la tercera línea de envasado.

Para ello, se debe considerar que después del apilado de galletas, en la mesa de acomodo, las galletas son transportadas por fajas, encima de las cuales están dispuestas varillas metálicas para definir 33 filas de galletas apiladas en las tres primeras fajas y 17 filas en las tres últimas.

Luego, los canales vibratorios<sup>29</sup> no serán simulados como fajas transportadoras, ya que su función es asegurar un continuo ingreso de galletas a las envasadoras primarias y cuya regulación se da de acuerdo a las velocidades de operación de las mismas; de esta manera, se consideran como componentes de ellas.

Además, se disponen de fajas de descarga a la salida de las envasadoras primarias y secundarias cuya función es acelerar el flujo de salida de los paquetes y *packs* de galletas respectivamente. Sus velocidades están dadas como incrementos porcentuales<sup>30</sup> de las de envasado; por lo que, se estiman como tiempos de procesamiento adicionales en las envasadoras y no se simulan como fajas transportadoras. Así, en la fórmula 3.1, se muestra la fórmula a utilizar para calcular los tiempos de envasado compuestos en segundos por paquete; donde  $V$  es la velocidad de operación de las envasadoras, expresada en paquetes por minutos, y  $i\%$  es el incremento porcentual; mientras que, en la tabla 3.33, se presentan los resultados de su aplicación.

$$\frac{60}{V} * \left(1 + \frac{1}{i\%}\right)$$

Fórmula 3.1 Velocidades de envasado compuestas  
Elaboración propia

<sup>29</sup> Vías de ingreso a las envasadoras primarias.

<sup>30</sup> Estos incrementos porcentuales se mantienen constantes, los maquinistas no los modifican normalmente.

Tabla 3.33 Velocidades de fajas de descarga

ENVASADORA	INCREMENTO (%)
C8	170%
C9	150%
A1	186%
A2	186%
C10	150%
A3	100%

Elaboración propia

Por otro lado, después del envasado secundario, los *packs* son transportados mediante fajas inclinadas de pendiente positiva, I1 y I2; aéreas, A1, A2, A3 y A4; e inclinadas de pendiente negativa, I3 y I4, hasta las estaciones de encajado; ver figura 3.1. Debido a la dificultad en la medición de sus longitudes y velocidades, se ha evaluado el tiempo de transporte de los productos por estas vías como variables determinísticas; ver tabla 3.34.

Tabla 3.34 Tiempos de transporte de fajas inclinadas y aéreas

ENVASADORA	FAJA INCLINADA DE INICIO	FAJAS AÉREAS	FAJA INCLINADA DE FIN	TIEMPO TOTAL DE TRANSPORTE (segundos/paquete)
C10	I1	A1 - A2	I3	49.0
A3	I2	A3 - A4	I4	28.2

Elaboración propia

En el área de encajado, se ubican dos fajas transportadoras y una bandeja de cajas en las dos estaciones de trabajo. Las primeras, acopladas con las fajas inclinadas, tienen como función desacelerar el flujo de entrada de los *packs* para facilitar su encajado manual; mientras que, en las segundas, los operarios colocan las cajas llenas de productos para que sean transportadas hasta la encintadora automática. Por su lado, las bandejas de cajas sirven para surtir a los operarios de cajas vacías previamente armadas.

Respecto a los tamaños de celda de cada faja<sup>31</sup>, estos son estimados a partir de las dimensiones de los productos que transportan siendo 2.5, 19.5 y 23.5 centímetros para los paquetes, *packs*, y cajas respectivamente.

Es importante mencionar que todas las fajas son de tipo acumulativo, no se detienen al cargar entidades. Además, no se han considerado los efectos de las curvas, inflexiones y pérdidas de velocidad por acoplamientos de fajas a desnivel.

En la figura 3.1, se presentan las ubicaciones de las fajas transportadoras en el proceso y, en la tabla 3.35, sus longitudes, velocidades y tamaños de sus celdas.

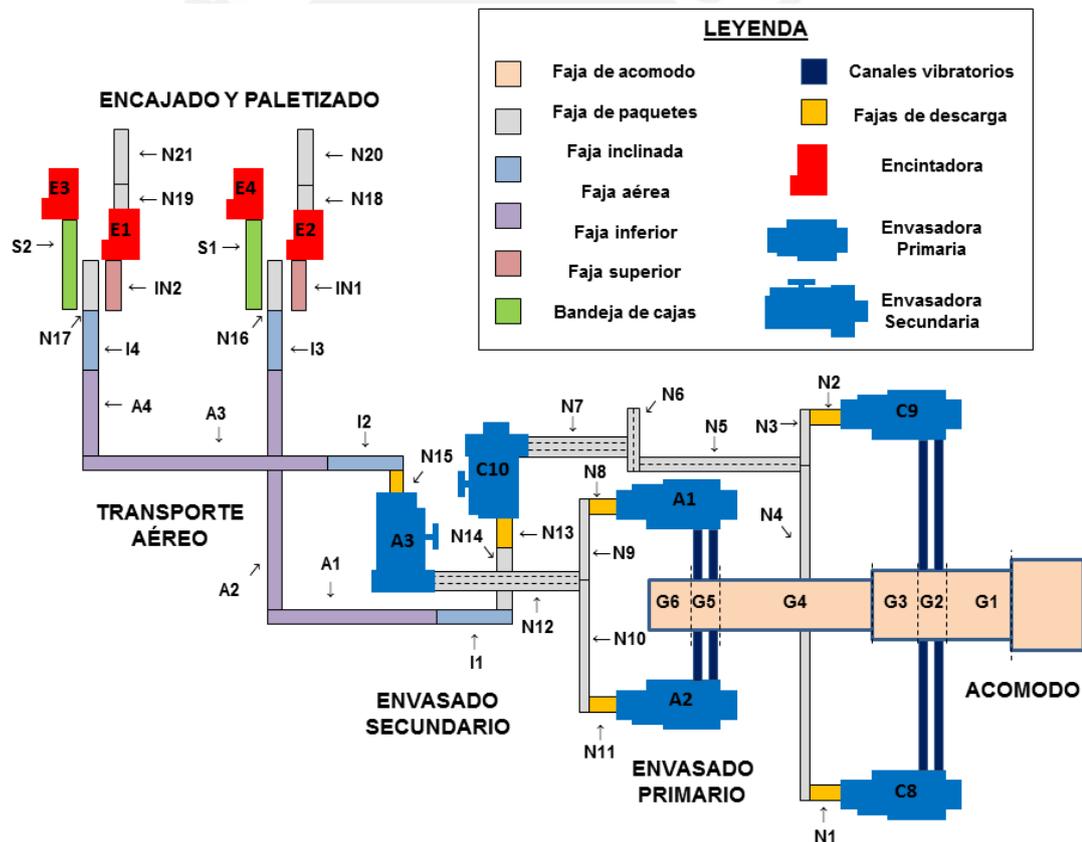


Figura 3.1 Fajas transportadoras en la tercera línea de envasado  
Elaboración propia

<sup>31</sup> Mínima unidad de la faja que puede ocupar una entidad.

Tabla 3.35 Especificaciones técnicas de las fajas transportadoras

FAJA	TIPO	MATERIAL TRANSPORTADO	VELOCIDAD (metros/segundo)	LONGITUD (metros)	TAMAÑO DE CELDA (metros)
G1	Acomodo	Galletas	0.032673267	2.70	0.004
G2	Acomodo	Galletas	0.031588448	1.92	0.004
G3	Acomodo	Galletas	0.031588448	4.59	0.004
G4	Acomodo	Galletas	0.030809859	3.74	0.004
G5	Acomodo	Galletas	0.030809859	1.82	0.004
G6	Acomodo	Galletas	0.030809859	1.03	0.004
N1	Normal	Paquetes	(1)	1.23	0.025
N2	Normal	Paquetes	(1)	1.23	0.025
N3	Normal	Paquetes	0.2182	1.16	0.025
N4	Normal	Paquetes	0.1983	8.76	0.025
N5	Normal	Paquetes	0.1805	8.00	0.025
N6	Normal	Paquetes	0.1724	2.14	0.025
N7	Normal	Paquetes	0.1056	4.37	0.025
N8	Normal	Paquetes	(1)	1.12	0.025
N9	Normal	Paquetes	0.1777	2.47	0.025
N10	Normal	Paquetes	0.1933	3.38	0.025
N11	Normal	Paquetes	(1)	1.11	0.025
N12	Normal	Paquetes	0.0989	4.25	0.025
N13	Normal	Packs	(1)	0.99	0.195
N14	Normal	Packs	0.8875	3.01	0.195
N15	Normal	Packs	0.7827	1.82	0.195
N16	Normal	Packs	0.2211	2.36	0.195
N17	Normal	Packs	0.2211	2.36	0.195
N18	Normal	Cajas	0.3846	2.97	0.235
N19	Normal	Cajas	0.3846	2.97	0.235
N20	Normal	Cajas	0.8593	2.32	0.235
N21	Normal	Cajas	0.8593	2.32	0.235
I1	Inclinada	Packs	(2)	(2)	0.195
I2	Inclinada	Packs	(2)	(2)	0.195
I3	Inclinada	Packs	1.4000	2.80	0.195
I4	Inclinada	Packs	1.4000	2.80	0.195
A1	Aérea	Packs	(2)	(2)	0.195
A2	Aérea	Packs	(2)	(2)	0.195
A3	Aérea	Packs	(2)	(2)	0.195
A4	Aérea	Packs	(2)	(2)	0.195
IN1	Inferior	Cajas	0.246153846	2.36	0.235
IN2	Inferior	Cajas	0.246153846	2.36	0.235

(1) Velocidad de envasado compuesta, ver figura 3.1 y tabla 3.33.

(2) Tiempos de transporte estimados como variables determinísticas, ver tabla 3.34.

Elaboración propia

## 3.2 Desarrollo del modelo base

Un modelo de simulación es la representación de un sistema real que es construido a partir de la abstracción de sus elementos y relaciones. En esta sección, se definen los componentes, entidades estáticas y dinámicas, atributos, y fallas; presunciones; y lógica de funcionamiento del modelamiento de la tercera línea de envasado de galletas.

### 3.2.1 Entidades estáticas

Las entidades estáticas, también denominadas recursos, son aquellas que brindan servicios a las entidades dinámicas. En este modelo, son cualquier tipo de operario, los maquinistas de las envasadoras secundarias, las envasadoras y las encintadoras automáticas. En la tabla 3.36, se detalla la cantidad y servicio que brinda cada recurso.

Tabla 3.36 Recursos del modelo

RECURSO	CANTIDAD	NOMBRE EN EL MODELO	SERVICIO
Operario Tipo 1	8	O_C8_1, O_C8_2, O_C9_1, O_C9_2, O_A1_1, O_A1_2, O_A2_1, O_A2_2,	Alimentación manual de galletas a las envasadoras primarias
Operario Tipo 2	4	O_C10_1, O_C10_2, O_A3_1, O_A3_2	Alimentación manual de paquetes a las envasadoras secundarias
Operario Tipo 3	2	Armador_C10, Armador_A3	Armado de cajas
Operario Tipo 4	6	Encajador_C10_1, Encajador_C10_2, Encajador_A3_1, Encajador_A3_2	Ubicación de packs en cajas
Operario Tipo 5	2	Paletizador_C10, Paletizador_A3	Construcción de pallets de cajas
Maquinista	2	Maquinista_EnvS_1, Maquinista_EnvS_2	Retiro y reemplazo de paquetes mal alimentados
Envasadoras primarias	4	ENV_C8, ENV_C9, ENV_A1, ENV_A2	Envasado de galletas en paquetes
Envasadoras secundarias	2	ENV_C10, ENV_A3	Envasado de paquetes en packs
Encintadoras automáticas	4	Encintadora_C10_Armado, Encintadora_A3_Armado, Encintadora_C10_Encajado, Encintadora_A3_Encajado	Encintado de las tapas inferiores o superiores de cajas según actividad
Fajas transportadoras	28	G1_C8, G1_C9, G1_A1, G1_A2, G2_C8, G2_C9, G2_A1, G2_A2, N3, N4, N5_C8, N5_C9, N6_C8, N6_C9, N7_1, N7_2, N7_3, N9, N10, N12_1, N12_2, N12_3, N16, N17, N18, N19, N20, N21	Transporte de galletas, paquetes, packs y cajas.

Elaboración propia

### 3.2.2 Entidades dinámicas

Las entidades dinámicas son aquellas que fluyen a través del sistema y a las que los recursos brindan servicios. En este caso, son las galletas; paquetes; *packs*; cajas, sin armar, armadas o llenas; y *pallets* de productos terminados.

### 3.2.3 Atributos

Los atributos son variables locales que describen y distinguen a una entidad. En la tabla 3.37, se presentan los atributos considerados, sus conceptos y valores permisibles.

Tabla 3.37 Atributos presentes en el modelo

ATRIBUTO	NOMBRE EN EL MODELO	VALORES PERMISIBLES
Calidad de alimentación primaria	MalAlimentadoP	0 (bien alimentado) o 1 (mal alimentado)
Calidad de alimentación secundaria	MalAlimentadoS	0 (bien alimentado) o 1 (mal alimentado)
Cuadrante del pallet en el que se ubica el grupo de cajas manipuladas	Cuadrante	1 (cuadrante A), 2 (cuadrante B), 3 (cuadrante C) o 4 (cuadrante D)

Elaboración propia

### 3.2.4 Fallas

Las fallas imprevistas de las envasadoras también han sido modeladas y sus asignaciones se muestran en la tabla 3.38. Cabe resaltar que las de la envasadora C10 no se han considerado por no demostrar relevancia en el análisis de datos previo.

Tabla 3.38 Fallas imprevistas de equipos

RECURSO VINCULADO	NOMBRE EN EL MODELO
Envasadora C8	MB_C8
Envasadora C9	MB_C9
Envasadora A1	MB_A1
Envasadora A2	MB_A2
Envasadora A3	MB_A3

Elaboración propia

### 3.2.5 Presunciones

Las presunciones o supuestos son las diferencias entre el modelo de simulación y el sistema real. Con el fin de manejar un adecuado nivel de complejidad de modelamiento se han determinado los siguientes supuestos.

- Se asume que durante el horizonte de simulación no habrán problemas de abastecimiento de materias primas, insumos y materiales; ni de rotura de fajas transportadoras.
- La rotación de puestos no influye en la eficiencia de la línea, los operarios que alimentan galletas y paquetes intercambian posiciones para mitigar los efectos de la repetitividad de las operaciones.
- El flujo de ingreso de galletas al área de envasado se mantiene constante, no se consideran las paradas imprevistas en el área de elaboración.
- En la alimentación manual de galletas, los operarios encargados de la primera vía de ingreso de cada envasadora solo manipulan las galletas apiladas en las cuatro filas de la faja más próximas a ellos; mientras que, los encargados de la segunda vía de ingreso, solo aquellas apiladas en las cuatro o cinco filas siguientes si alimentan a las envasadoras C8 y C9 o A1 y A2 respectivamente.
- El tiempo de alimentación manual de galletas no depende si estas son alimentadas directamente al canal vibratorio de la envasadora, son alimentadas desde bandejas o son almacenadas en ellas temporalmente.
- El tiempo de operación de las envasadoras no es afectado por los cambios de bobinas de empaque.
- Las envasadoras y las encintadoras automáticas son consideradas cajas negras, se modelan y analizan sin considerar su funcionamiento interno.
- No se modela la operación de transferencia de crema desde las artozas a las ollas de crema conectadas a las envasadoras primarias, ya que no impacta directamente en la productividad del proceso.

- No se consideran las fracciones de defectuosos en las operaciones de envasado secundario, armado de cajas, encajado, encintado y paletizado dadas sus bajas probabilidades de ocurrencia.
- Las galletas o paquetes procesados en otro turno de trabajo y almacenados en bandejas no se utilizan como inventario adicional de productos en proceso.
- El agrupamiento de galletas y paquetes para la alimentación de envasadoras, de paquetes para el encajado y cajas para el paletizado se da de acuerdo al orden de llegada de las entidades. En el sistema real, los operarios pueden agrupar los materiales no necesariamente a partir de la primera entidad en llegar, priorizan la técnica de alimentación<sup>32</sup> y su comodidad.
- Cada grupo de alimentación de galletas puede tener entidades transportadas por vías distintas pero direccionadas al mismo recurso.
- Todas las galletas son alimentadas. En el sistema real, existe una mínima fracción de galletas que dejan de ser alimentadas porque llegan desordenadas o sin cumplir las especificaciones de calidad.
- Las pérdidas de velocidad en el transporte de materiales debido a curvas, inflexiones, atascamientos o acoplamientos de fajas a desnivel se deprecian.
- No se considera el tiempo que los operarios encargados del armado de cajas destinan a desarmar los lotes de cajas y transportar un grupo de ellas a sus puestos de trabajo.

### 3.2.6 Descripción del modelo

En el área envasado, las galletas pasan por una mesa apiladora y una de acomodo sobre las cuales están dispuestas varias fajas transportadoras. Sin embargo, en el modelo, se definen 33 vías de ingreso y transporte para poder aplicar transporte con camino dirigido hacia cada operario alimentador de galletas. Cada vía mantiene un tiempo entre llegadas de 0.2 segundos; ver figura 3.2 y anexo 16<sup>33</sup>, y se modela la repartición de las entidades de la

<sup>32</sup> En todos los casos, la técnica de alimentación consiste en agrupar los materiales en un solo movimiento; de esta manera, si alguno está desalineado con respecto al resto, se prescinde de él y altera el orden de alimentación.

<sup>33</sup> En el anexo 16, se presenta el modelamiento del ingreso de galletas para las envasadoras C9, A1 y A2.

vía central entre los segundos operarios de las envasadoras A1 y A2, bloques Station *Ingreso\_Galleta\_A\_X* y Branch; ver figura 3.3.

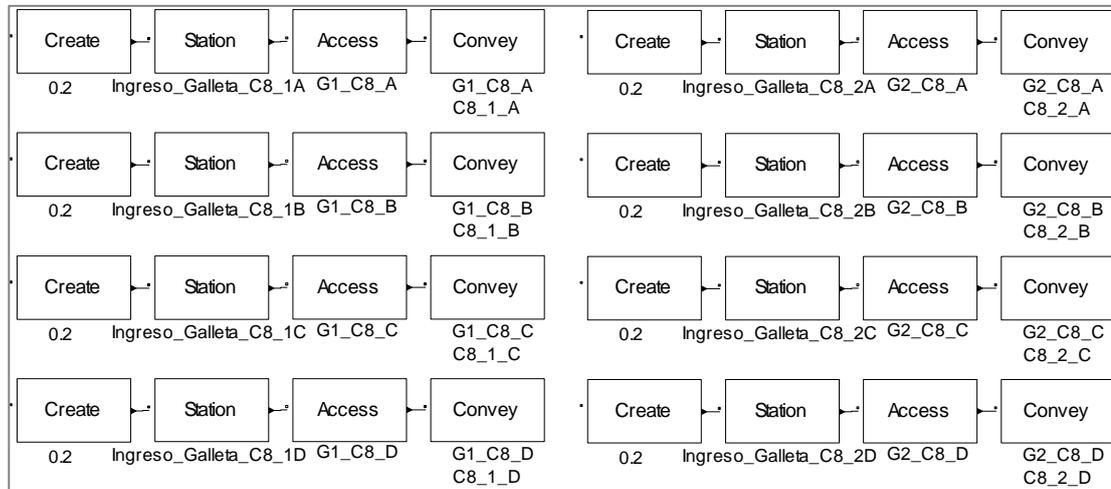


Figura 3.2 Modelamiento del ingreso de galletas – Envasadora C8  
Elaboración propia

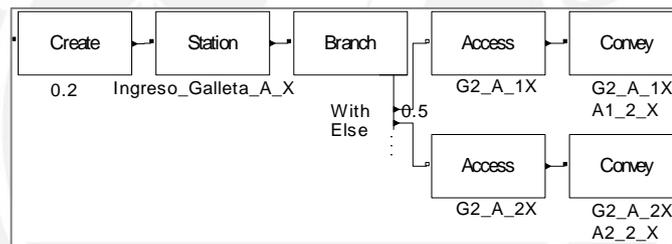


Figura 3.3 Modelamiento del ingreso de galletas – Vía central  
Elaboración propia

Para la alimentación de galletas a cada envasadora se requieren dos operarios, recursos O\_ENV\_1 y O\_ENV\_2. Cada uno agrupa las galletas antes de alimentarlas en grupos de 75 o 79 en promedio de acuerdo a su nivel de experticia al igual que la duración de dicha operación. Luego de su alimentación, se les asigna el atributo *MalAlimentadoP* cuyo valor depende de la fracción de galletas mal alimentadas. Después, se modelan los ensambles de dos galletas en cada vía de ingreso para formar el sándwich, los cuales son agrupados en grupos de cuatro para ser envasados. Ver figura 3.4 y anexo 17<sup>34</sup>.

<sup>34</sup> En el anexo 17, se presenta el modelamiento de la alimentación manual de galletas para las envasadoras C9, A1 y A2.

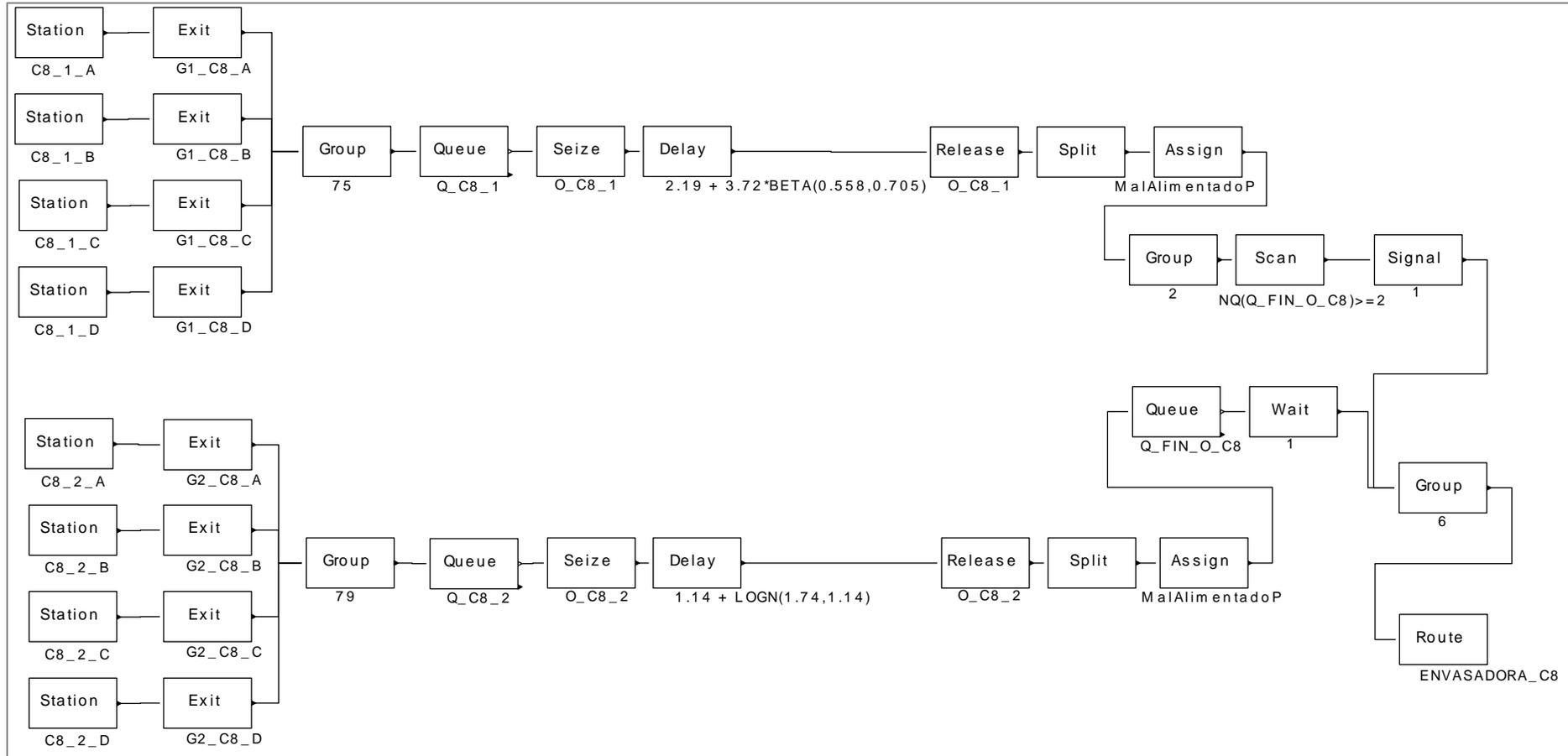


Figura 3.4 Modelamiento de la alimentación manual de galletas – Envasadora C8  
Elaboración propia

En las envasadoras, se han definido la duración de su operación considerando los cambios de velocidad de acuerdo a la cantidad de bandejas de galletas acumuladas, variables  $NQ(Q\_ENV\_ENV)$ ; las fallas por mala alimentación; y las fajas de descarga. Asimismo, se modela la generación de paquetes defectuosos debido al ingreso de grupos de galletas con por lo menos una mal alimentada, bloques Group, y la fracción natural de defectuosos por tipo de envasadora, segundos bloques Branch; ver figura 3.5 y anexo 18<sup>35</sup>.

A continuación, las entidades procesadas en los recursos *ENVASADORA\_C8* y *ENVASADORA\_C9* son transportadas por las fajas *N4* y *N3* respectivamente a otra que transporta los paquetes en dos filas, una por cada envasadora, *N5\_C8* y *N5\_C9*; esta última se acopla a una faja similar, *N6\_C8* y *N6\_C9*, que dirige a los paquetes a la estación de alimentación de la envasadora *C10*, *Consolidado\_C8\_C10* y *Consolidado\_C9\_C10*; ver figura 3.6. Por su lado, las entidades procesadas en los recursos *ENVASADORA\_A1* y *ENVASADORA\_A2* son transportadas por las fajas *N9* y *N10* respectivamente a la estación de alimentación de la envasadora *A3*.

En ambos casos, para la alimentación de paquetes se requieren de dos operarios en cada envasadora secundaria, ellos los agrupan en grupos de 15 o 16 en promedio de acuerdo a su nivel de experticia al igual que la duración de dicha operación. Luego de su alimentación, se les asigna el atributo *MalAlimentadoS* cuyo valor depende de la fracción de paquetes mal alimentados; ver figuras 3.7 y anexo 19<sup>36</sup>. Después, dado que la faja de ingreso a cada envasadora secundaria consta de tres vías de ingreso, para su modelamiento se utilizan bloques Branch y tríos de fajas con especificaciones similares, *N7\_1*, *N7\_2* y *N7\_3* para la envasadora *C10*, y *N12\_1*, *N12\_2* y *N12\_3* para la envasadora *A3*; ver figuras 3.8 y 3.9.

---

<sup>35</sup> En el anexo 18, se presenta el modelamiento del envasado primario de las envasadoras *C9*, *A1* y *A2*.

<sup>36</sup> En el anexo 19, se presenta el modelamiento de la alimentación manual de paquetes para la envasadora *A3*.

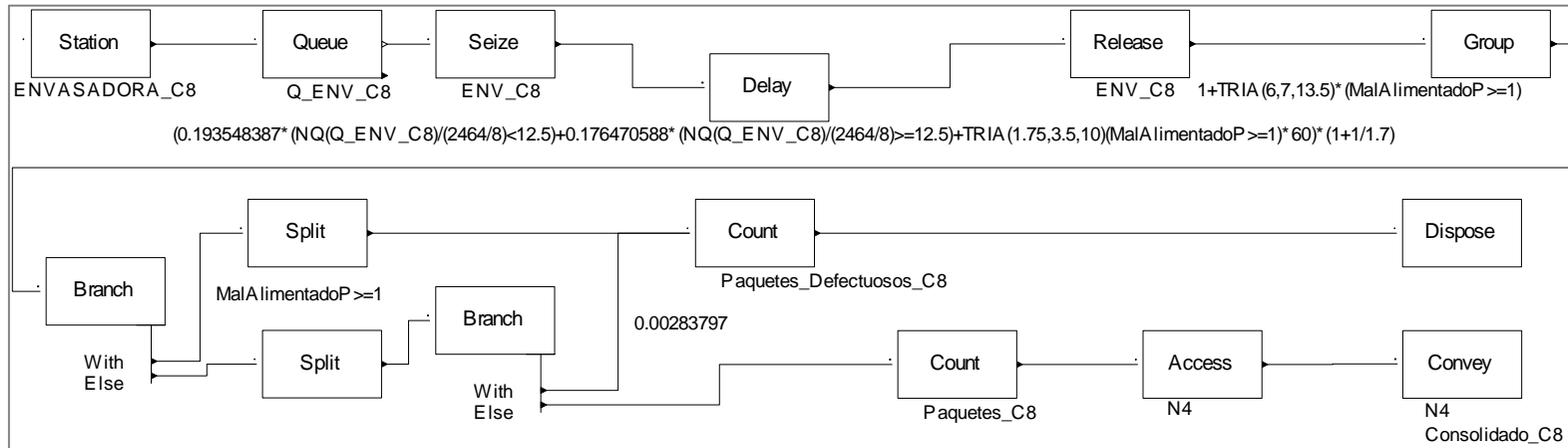


Figura 3.5 Modelamiento del envasado primario – Envasadora C8  
Elaboración propia

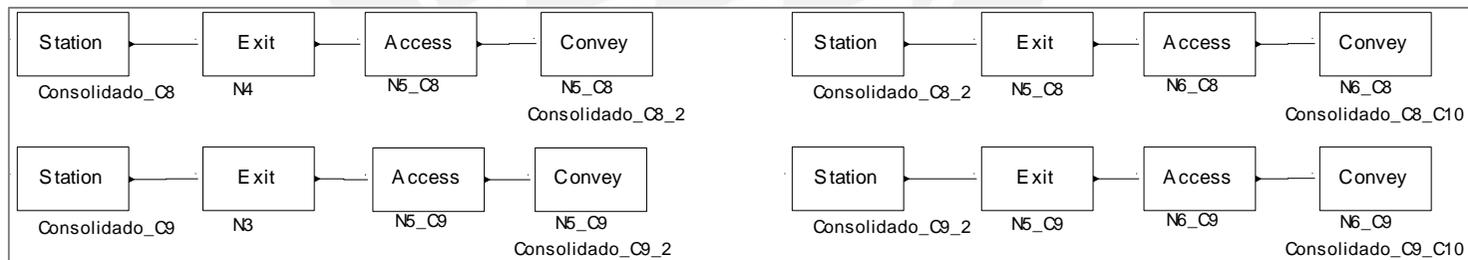


Figura 3.6 Modelamiento del transporte a la envasadora C10  
Elaboración propia

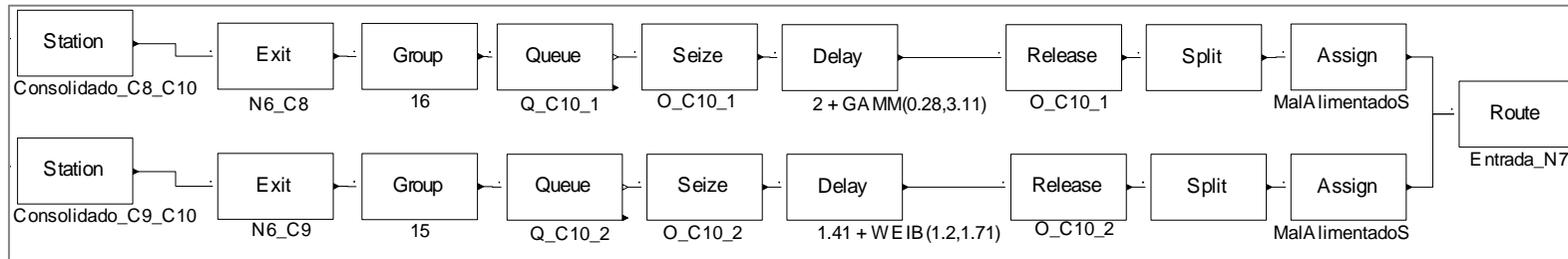


Figura 3.7 Modelamiento de la alimentación manual de paquetes – Envasadora C10  
Elaboración propia

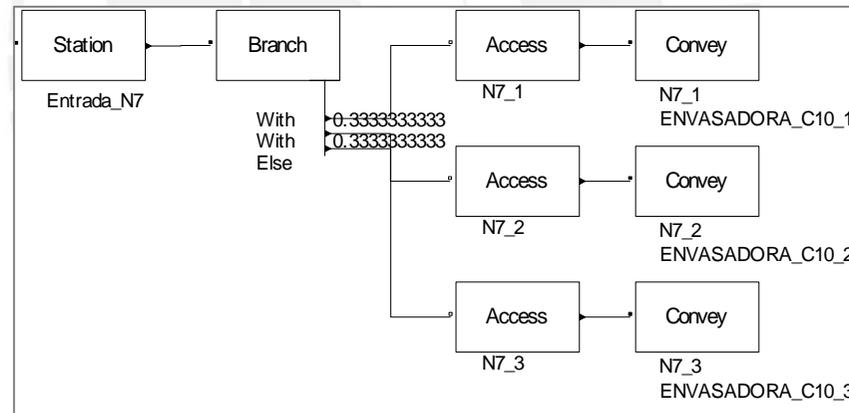


Figura 3.8 Modelamiento del ingreso de paquetes – Envasadora C10  
Elaboración propia

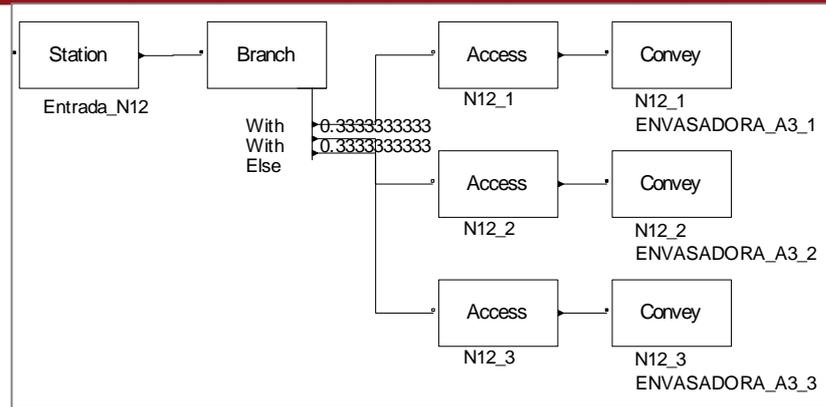


Figura 3.9 Modelamiento del ingreso de paquetes – Envasadora A3  
 Elaboración propia

En el envasado secundario, se ha definido la duración de operación de las envasadoras considerando los cambios de velocidad de acuerdo a la cantidad de bandejas acumuladas, variables  $NQ(Q\_ENV\_ENV\_OK)$ , las fallas por mala alimentación y las fajas de descarga; ver figura 3.10 y anexo 20<sup>37</sup>.

Asimismo, se modela y contabiliza la generación de paquetes defectuosos debido al ingreso de grupos de paquetes con por lo menos uno mal alimentado, bloques *Group* y contadores *Packs\_Defectuosos\_ENV* respectivamente; y las ocasiones en las que el maquinista al detectar un paquete mal alimentado procede a retirarlo y reemplazarlo antes de que sea procesado, entidades con condición  $MalAlimentadoS \geq 1$  separadas en los bloques *Branch*; ver figura 3.10 y anexo 20.

Además, es importante mencionar que el maquinista tiene una capacidad de corrección hasta de 36 paquetes mal alimentados consecutivamente; por lo que, se establece a tal como la cantidad máxima de entidades que pueden esperar en las colas  $Q\_ENV\_ENV\_C$ ; ver figura 3.10 y anexo 20.

<sup>37</sup> En el anexo 20, se presenta el modelamiento del envasado secundario de la envasadora A3.



En las estaciones de encajado, las entidades de *packs* son colocadas en grupos de ocho en cajas, armadas y encintadas por un lado previamente por los recursos *Armador\_ENV*, cuyos tiempos de operación dependen del nivel de experticia del operario, y *Encintadora\_ENV\_Armado* respectivamente. Asimismo, se utilizan bloques Branch, dos recursos *Encajador\_ENV\_1* y uno *Encajador\_ENV\_2* en cada estación para modelar la variación en el tiempo de operación debido su nivel de experticia. Además, se contabiliza el número de cajas llenadas en cada estación con los contadores *Cajas\_Llenas\_C10* y *Cajas\_Llenas\_A3*. Ver figura 3.11 y anexo 21<sup>38</sup>.

Las cajas de productos de las estaciones *Encajado\_C10* y *Encajado\_A3* son transportadas por las fajas *N16* y *N17* hacia las encintadoras automáticas para el sellado de sus tapas superiores respectivamente y contabilizadas, contadores *Cajas\_Encintadas\_C10* y *Cajas\_Encintadas\_A3*; por otro lado, cabe mencionar que el tiempo de encintado en la estación *Encintado\_C10* es solo de 2 segundos, bloque Delay, dado que en ella opera la única encintadora automática de modelo nuevo de la línea; ver figuras 3.12 y 3.13.

Luego, terminada la operación de encintado, las cajas son transportadas al área de paletizado mediante el acoplamiento de las fajas transportadoras *N18* y *N20* para los productos de la estación *Encajado\_C10*, y *N19* y *N21* para los de la estación *Encajado\_A3*; ver figuras 3.14 y 3.15.

En el área de paletizado, los operarios agrupan las cajas, de acuerdo a una distribución empírica discreta resultante del análisis de datos, bloques Group, y las posicionan en los *pallets*, operación cuya duración varía de acuerdo al cuadrante del *pallet* en el que se posicionan, bloques Delay. Las cajas son agrupadas en grupos de 150 para ser contabilizadas en unidades de *pallet*, contadores *Pallets\_C10* y *Pallets\_A3*, y son evacuadas del sistema de simulación finalmente, bloques Dispose; ver figura 3.16 y anexo 22<sup>39</sup>.

---

<sup>38</sup> En el anexo 21, se presenta el modelamiento de la estación de encajado A3.

<sup>39</sup> En el anexo 22, se presenta el modelamiento del paletizado A3.

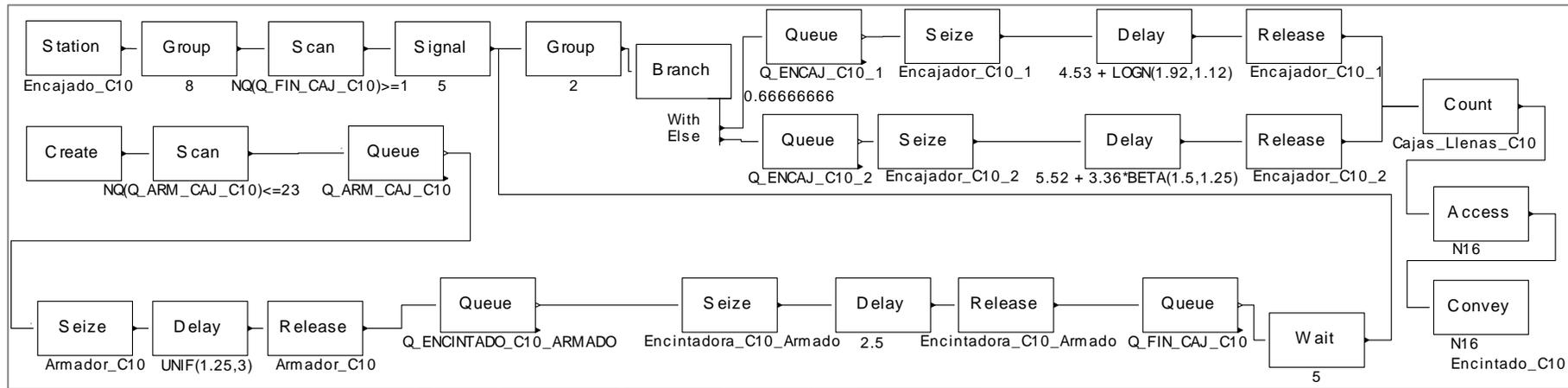


Figura 3.11 Modelamiento de la estación de encajado C10  
Elaboración propia

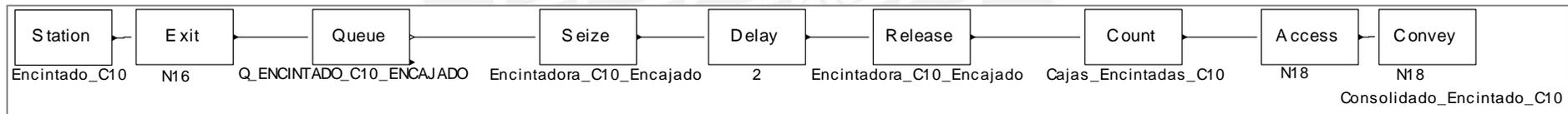


Figura 3.12 Modelamiento del encintado C10  
Elaboración propia

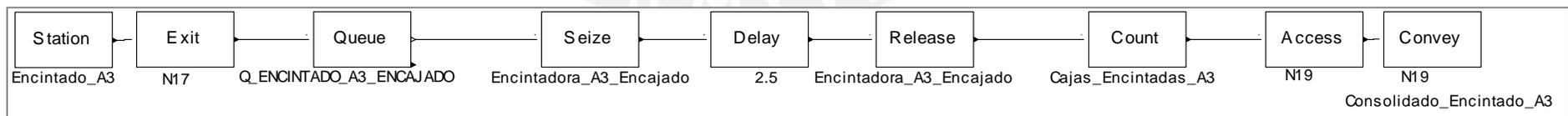


Figura 3.13 Modelamiento del encintado A3  
Elaboración propia

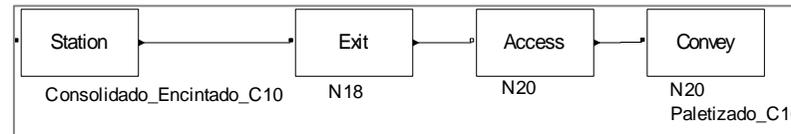


Figura 3.14 Modelamiento del transporte al área de paletizado C10  
Elaboración propia

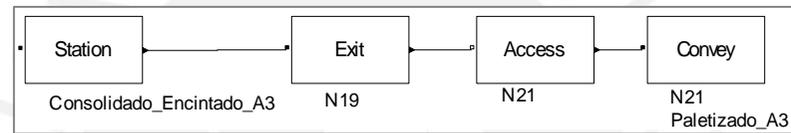


Figura 3.15 Modelamiento del transporte al área de paletizado A3  
Elaboración propia

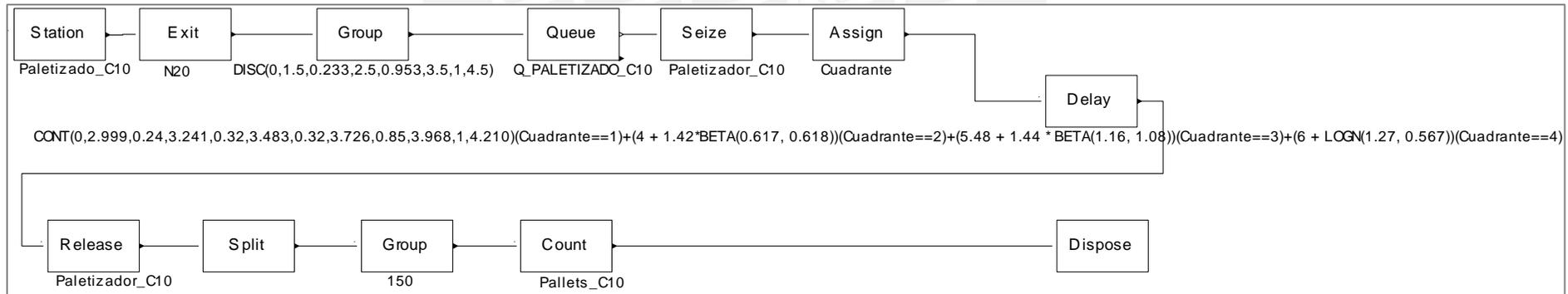


Figura 3.16 Modelamiento del paletizado C10  
Elaboración propia

### 3.3 Validación y análisis de resultados

La validación consiste en determinar si el modelo de simulación es una buena representación del sistema real. Se comparan los resultados de ambos empleando el método de prueba de hipótesis de dos colas con un nivel de confianza  $(1-\alpha)\%$  de 95%, cuya hipótesis nula señala que el promedio de los resultados de la variable evaluada del modelo de simulación es igual a los del sistema real.

Dado que el sistema es de tipo terminal, la simulación tiene condiciones iniciales conocidas y un tiempo de corrida específico, se debe determinar el número de réplicas para asegurar que los resultados sean confiables primero. Para ello, se calcula la mitad del ancho del intervalo de confianza  $h$  para el promedio de la variable evaluada, número de cajas producidas en 7.25 horas, turno normal de trabajo considerando 45 minutos de refrigerio, a partir de diez réplicas y aplicando la distribución t de Student; ver tabla 3.39 y fórmula 3.2.<sup>40</sup>

Tabla 3.39 Análisis del modelo base

R	Cajas_Encintadas_C10	Cajas_Encintadas_A3	TOTAL DE CAJAS	Pallets_C10	Pallets_A3
1	5281	5221	10502	35.21	34.81
2	5278	5217	10495	35.19	34.78
3	5275	5214	10489	35.17	34.76
4	5280	5228	10508	35.20	34.85
5	5274	5236	10510	35.16	34.91
6	5279	5211	10490	35.19	34.74
7	5281	5230	10511	35.21	34.87
8	5277	5221	10498	35.18	34.81
9	5299	5233	10532	35.33	34.89
10	5281	5222	10503	35.21	34.81

Elaboración propia

$$h = t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} * \frac{S_x}{\sqrt{n}} = 2.2622 * \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{\sqrt{10}} = 7.7217$$

Fórmula 3.2 Cálculo de h para el promedio de la variable  
Elaboración propia

<sup>40</sup> Ver Anexo 23: Resultados del modelo base para validación.

Luego, como el valor de  $h$  es adecuado no se realizan réplicas adicionales y se procede a realizar la prueba de hipótesis para validar el modelo de simulación; ver figura 3.17.

RÉPLICA	TOTAL DE CAJAS REAL
1	10038
2	10022
3	10678
4	10955
5	10912
6	10051
7	10782
8	10089
9	10821
10	10734
<b>Promedio (c)</b>	<b>10508</b>

$$\begin{aligned}
 H_0: E(Y) &= c \\
 H_1: E(Y) &\neq c \\
 \text{Estadístico } T_o &= \frac{E(Y) - c}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \\
 &= \frac{10504 - 10508}{10.7940/\sqrt{10}} = -1.2305 \\
 \text{Si } |T_o| > t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} &\rightarrow \text{Se rechaza } H_0
 \end{aligned}$$

Figura 3.17 Prueba de hipótesis para validación  
Elaboración propia

De esta manera, se concluye que no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , ya que el valor absoluto del estadístico  $T_o$  es menor al  $T_{tabla}$ . Por tanto, se determina que los resultados del modelo de simulación son semejantes a los del sistema real.

Asimismo, cabe mencionar que los resultados del sistema real reportan mayor variación que los del modelo de simulación, la desviación estándar del primero equivale a tres *pallets*; mientras que, la del segundo, a solo uno aproximadamente; debido a las presunciones consideradas en el modelamiento que aseguran un proceso más estable.

### 3.4 Desarrollo de las mejoras propuestas

La propuesta de mejora para la tercera línea de envasado de galletas consiste en determinar las velocidades de operación y la distribución de operarios en entrenamiento en el proceso de envasado; además de, evaluar la inversión en la compra e implementación de dos nuevas envasadoras primarias. Por ello, dada la intervención de estas tres variables, se utiliza un

diseño de experimentos fraccionados y simulados, diseño  $2_{III}^{3-1}$ , usando variantes del modelo base con el fin de determinar los factores significativos de la rentabilidad del proceso y sus niveles adecuados para maximizarla.

### 3.4.1 Descripción de factores y niveles

El primer factor consiste en evaluar los efectos del uso de velocidades óptimas de envasado determinadas previamente utilizando OptQuest<sup>41</sup>. Para ello, se estableció como objetivo maximizar la función utilidad, compuesta por los ingresos generados por la venta de productos y los costos de mano de obra, materiales, energía eléctrica, gas natural y productos no conformes; ver tabla 3.40.

Tabla 3.40 Recursos del modelo

CONCEPTO	DATO	VALOR EN MODELO
Ingresos (Precio - Costo de Materiales)	700 US\$/ton.	S/. 4.29/caja
Sueldo del Coordinador de Envasado	S/. 75/día	S/. 75
Sueldo del Encargado-Maquinista	S/. 60/día	S/. 60
Sueldo de Maquinista	S/. 47/día	S/. 47
Sueldo de Operario Tipo A (estable)	S/. 33/día	S/. 33
Sueldo de Operario Tipo B (no estable)	S/. 870/mes	S/. 31
Energía eléctrica <sup>42</sup>	168.33 kWh/ton. y S/. 0.32/kWh	S/. 0.13/caja
Gas natural <sup>43</sup>	54.25 m <sup>3</sup> /ton y S/. 0.757/m <sup>3</sup>	S/. 0.01/caja
Producto no conforme Tipo A (paquetes)	S/. 3.26/kg	S/. 0.17/paquete
Producto no conforme Tipo B (packs)	S/. 3.26/kg	S/. 0.90/pack

Elaboración propia

Las variables de decisión fueron las velocidades de operación de las envasadoras, cuyos valores variaron de acuerdo a intervalos establecidos por los expertos del proceso; ver tabla 3.41. Mientras que, las restricciones

<sup>41</sup> Herramienta de optimización de resultados de las corridas de simulación realizadas en Arena Software Simulation. Permite maximizar o minimizar una función objetivo variando los valores de las variables de decisión o controles, y considerando ciertas restricciones.

<sup>42</sup> Fuente: Edelnor. (s.f.). Recuperado el 26 de Junio de 2014, de [http://www.edelnor.com.pe/Edelnor/ContenidoFileServer/Pliegos%20Edelnor%20040713%20consumo%20WEB\\_20130704071147436.pdf](http://www.edelnor.com.pe/Edelnor/ContenidoFileServer/Pliegos%20Edelnor%20040713%20consumo%20WEB_20130704071147436.pdf)

<sup>43</sup> Fuente: Osinergmin. (s.f.). *Osinergmin*. Recuperado el 26 de Junio de 2014, de <http://www2.osinerg.gob.pe/pagina%20osinergmin/gas%20natural/contenido/pyt00.html>

establecidas permitieron asegurar un flujo continuo de procesamiento en las envasadoras:  $NQ(Q\_ENV\_ENV) \geq 10$  y  $NQ(Q\_ENV\_ENV\_OK) \geq 0$  para las envasadoras primarias y secundarias respectivamente.

Tabla 3.41 Intervalos de variación para los controles

ENVASADORA	MÍNIMO (unidades/min)	PROMEDIO ACTUAL (unidades/min)	MÁXIMO (unidades/min)
C8	286	310	375
C9	286	340	375
A1	286	315	353
A2	286	325	353
C10	90	115	130
A3	90	105	125

Elaboración propia

Finalmente, en la tabla 3.42, se muestran los resultados del proceso de optimización, las velocidades estables de envasado con las que se alcanzó una utilidad estimada de S/. 42,039.81 en 7.25 horas, turno normal de trabajo considerando 45 minutos de refrigerio.<sup>44</sup>

Tabla 3.42 Resultados del proceso de optimización

ENVASADORA	DURACIÓN ÓPTIMA (segundos/paquete)	VELOCIDAD ÓPTIMA (unidades/min)
C8	0.1725	348
C9	0.1725	348
A1	0.1800	333
A2	0.1800	333
C10	0.5125	117
A3	0.5275	114

Elaboración propia

Por su lado, el segundo factor se refiere a la distribución del personal en entrenamiento. En el modelo base, dos de los ocho operarios encargados de la alimentación manual de galletas son de bajo nivel de experticia. Así, de acuerdo a la criticidad de dicha operación demostrada en los resultados de la simulación, se evalúa su reemplazo por operarios estables.

<sup>44</sup> Ver Anexo 24: Velocidades óptimas de envasado.

Por último, el tercer factor evalúa el efecto potencial de la sustitución de las envasadoras A1 y A2 por similares a las envasadoras C8 y C9. La relevancia de tal análisis radica en que las primeras a pesar de generar mayor cantidad de productos no conformes por mala alimentación y fallas imprevistas prolongadas, mantienen fracciones naturales de defectuosos y tiempos de reajuste menores.

A continuación, en la tabla 3.43, se muestran los factores y niveles del diseño experimental.

Tabla 3.43 Factores y niveles del diseño experimental

FACTORES	NIVELES	
	-1	+1
<b>A: Velocidades de envasado</b>	Actuales	Óptimas y estables
<b>B: Distribución de operarios no estables</b>	Mantener	Reemplazar
<b>C: Envasadoras primarias obsoletas</b>	Mantener	Sustituir

Elaboración propia

### 3.4.2 Diseño de experimentos fraccionados y simulados

Se construye un diseño factorial  $2_{III}^{3-1}$  de dos réplicas con  $C=\pm AB$  como generador de diseño; ver tabla 3.44, cuya variable de respuesta es la misma función utilidad del proceso de optimización. Luego, se realiza un análisis de varianza (ANOVA) para validar la significancia de los factores utilizando Minitab Statistical Software<sup>45</sup>; ver tabla 3.45.

Tabla 3.44 Diseño de experimentos planteado

TRATAMIENTO	EFECTO FACTORIAL			PRIMERA RÉPLICA	SEGUNDA RÉPLICA
	A	B	I=ABC		
<b>a</b> <sup>46</sup>	+	-	-	S/. 42,039.81	S/. 42,039.81
<b>b</b> <sup>47</sup>	-	+	-	S/. 42,278.00	S/. 42,316.00
<b>c</b> <sup>48</sup>	-	-	+	S/. 41,840.00	S/. 41,796.00
<b>abc</b> <sup>49</sup>	+	+	+	S/. 42,381.00	S/. 42,345.00

Elaboración propia

<sup>45</sup> Software de análisis estadístico descriptivo e inferencial.

<sup>46</sup> Las utilidades resultantes de ambas réplicas tienen el valor obtenido en el proceso de optimización.

<sup>47</sup> Ver Anexo 25: Resultados de la simulación del tratamiento b.

<sup>48</sup> Ver Anexo 26: Resultados de la simulación del tratamiento a.

<sup>49</sup> Ver Anexo 27: Resultados de la simulación del tratamiento abc.

Tabla 3.45 Análisis de varianza del diseño planteado

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER	p-value
A	1	41416	41416	70.86	0.001
B	1	321758	321758	550.48	0.000
C	1	12138	12138	20.77	0.010
Error	4	2338	585		
Total	7	377650			

Elaboración propia

De esta manera, se realiza la prueba Fisher con dos hipótesis: “ $H_0$ : El factor  $i$ -ésimo no influye en la respuesta” y “ $H_1$ : El factor  $i$ -ésimo sí influye en la respuesta”. Donde dado que el  $F_{calculado}$  de cada factor es mayor que el valor de  $F_{tabla} = F_{(0.05, 1, 4)}$ , 7.71, se concluye que los tres factores son relevantes. Lo cual se verifica con los valores obtenidos de p-value, los tres son menores al nivel de significancia, 0.05.

Después, se utiliza una gráfica de contorno, una de interacciones y otra de cubos con la media de los datos para determinar la combinación necesaria de los niveles de los tres factores que maximice la función utilidad; ver figuras 3.18, 3.19 y 3.20.

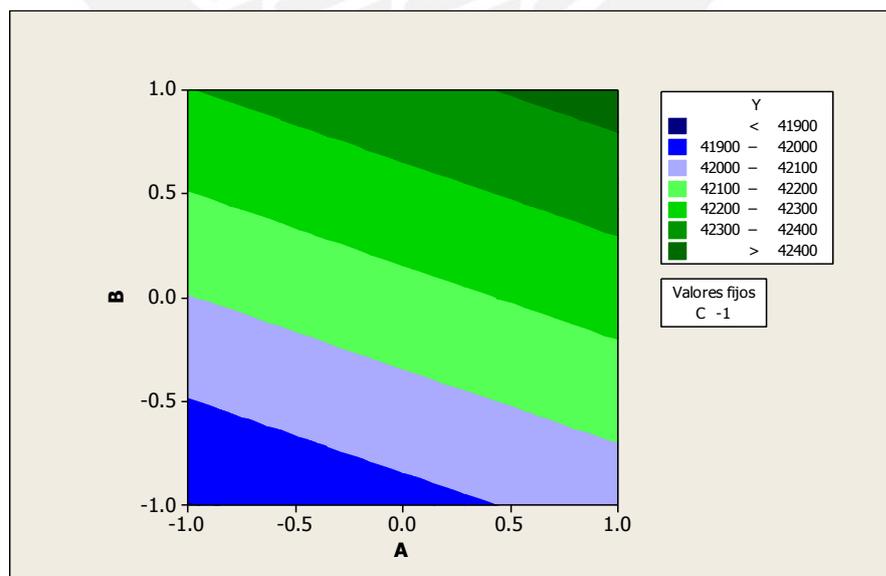


Figura 3.18 Gráfica de contorno de la función utilidad  
Elaboración propia

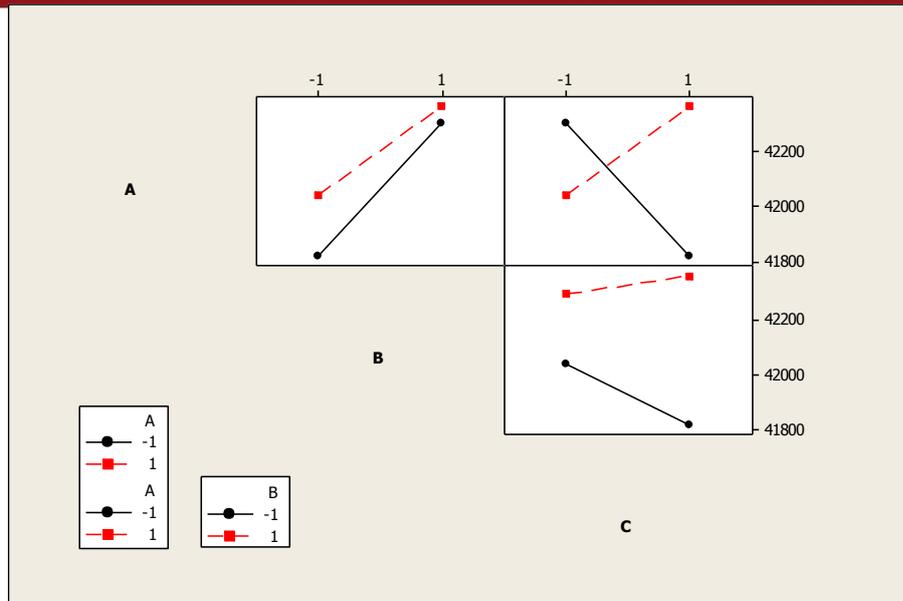


Figura 3.19 Gráfica de interacciones para la función utilidad  
Elaboración propia

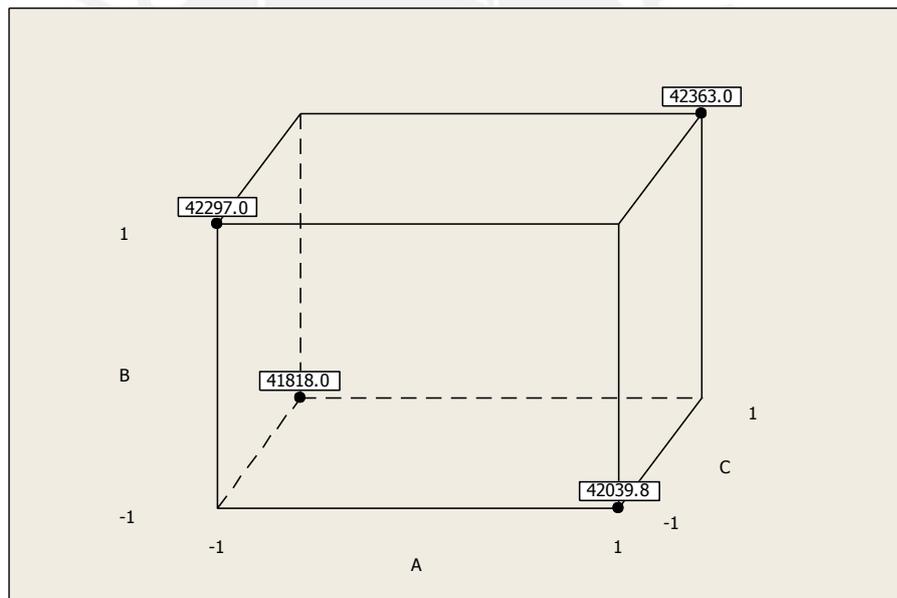


Figura 3.20 Gráfica de cubos para la función utilidad  
Elaboración propia

En resumen, el uso de las velocidades de envasado óptimas, el reemplazo de dos operarios en entrenamiento y la sustitución de las envasadoras primarias obsoletas son mejoras propuestas válidas por su significancia comprobada en la rentabilidad del proceso y con las que se puede alcanzar una utilidad estimada de S/. 42,363.00 en 7.25 horas, turno normal de trabajo considerando 45 minutos de refrigerio, 1.5% mayor a la del modelo base. Estas mejoras serán implementadas en 84 días; ver anexo 28.

## CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

En este capítulo, se desarrollará la evaluación técnica y económica de la propuesta. La primera consiste en medir el grado de eficacia de las contramedidas; mientras que, la segunda, en determinar la inversión requerida y los beneficios económicos generados del modelo propuesto.

### 4.1 Evaluación técnica

El principal problema de la tercera línea de elaboración y envasado de galletas son las paradas debido a la acumulación de bandejas, inventario de productos en proceso. Por ello, con el fin de evaluar su mitigación, se compara el número de entidades promedio en cola al ingreso de las envasadoras primarias y secundarias, galletas y paquetes respectivamente, del modelo base y el propuesto; ver tabla 4.1. Los resultados del balance de línea recomendado muestran una reducción promedio del inventario de productos en proceso de 22.99% y 47.38% en el envasado primario y secundario respectivamente.

Además, cabe mencionar que se desestima el impacto social del reemplazo de los dos operarios no estables encargados de la alimentación manual de galletas, ya que serán reubicados en otras estaciones de trabajo que exijan un menor nivel de experticia.

Tabla 4.1 Variación del inventario de productos en proceso

ENVASADORA	MODELO BASE (galletas o paquetes)	MODELO PROPUESTO (galletas o paquetes)	VARIACIÓN (%)
C8	164.8216	87.6080	-46.85%
C9	94.9216	88.5280	-6.74%
A1	137.0680	104.8680	-23.49%
A2	125.1224	106.4960	-14.89%
C10	1.0679	0.9210	-13.76%
A3	3.5733	0.6788	-81.00%

Elaboración propia

Por otro lado, se evalúa la variación de la cantidad de productos no conformes debido a la sustitución de las envasadoras primarias obsoletas; ver tabla 4.2. De esta manera, se verifica la eficacia de la contramedida propuesta al lograrse una reducción promedio de 11.94% del nivel de productos defectuosos. También, dicho análisis es útil para validar su efecto en la reducción de las calibraciones y ajustes, cuyas frecuencias son directamente proporcionales a la cantidad de productos no conformes.

Tabla 4.2 Variación de la cantidad de productos no conformes

ENVASADORA	MODELO BASE (paquetes defectuosos)	MODELO PROPUESTO (paquetes defectuosos)	VARIACIÓN (%)
A1	540	471	-12.83%
A2	552	491	-11.06%

Elaboración propia

Asimismo, la implementación de dos nuevas envasadoras primarias permite minimizar la duración y tiempo entre fallas imprevistas de equipos; no obstante, no se ha profundizado en dicho análisis debido a la corta longitud de réplica de simulación en comparación con ambos tiempos.

## 4.2 Evaluación económica

En esta sección, se estima la inversión requerida y los beneficios económicos del modelo propuesto. Asimismo, se evalúa la viabilidad económica del proyecto calculando la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) considerando un Costo de Oportunidad del Capital (COK) de 11.51%<sup>50</sup>.

### 4.2.1 Inversión requerida

Para implementar las mejoras propuestas se requiere invertir en la compra y puesta en operación de dos nuevas envasadoras primarias, adquisición de las licencias de Arena Simulation Software y Minitab Statistical Software, y contratación de una persona que se encargue del seguimiento y evaluación

<sup>50</sup> El COK es calculado utilizando el modelo CAPM; ver anexo 32. Además, cabe mencionar que su valor no justifica el uso de fuentes externas para la financiación del proyecto de mejora.

del modelo de simulación, un especialista en ambos software, por un periodo de dos años. Por otro lado, dado que las envasadoras de modelo Bosch Dobby Linium 611 han sido discontinuadas, se opta por importar las de modelo Pack 201<sup>51</sup> con alimentación manual desde Brasil; ver tabla 4.3.

Tabla 4.3 Costo de importación

CONCEPTO	VALOR (US\$)
Valor FOB	500,000.00
Flete	3,000.00
Seguro	5,030.00
<b>VALOR CIF</b>	<b>508,030.00</b>
AD/VALOREM (6%)	30,481.80
ISC (0%)	0.00
IGV (16%)	86,161.89
IPM (2%)	10,770.24
Tasa de servicio	30.00
Total de derechos	127,443.92
Percepción IGV (10%)	63,547.39
<b>GRAVÁMENES</b>	<b>190,991.32</b>
Almacenaje en Puerto <sup>52</sup>	188.33
Descarga	167.55
Emisión de B/L	95.00
Liberación de B/L	275.00
Transporte interno <sup>53</sup>	200.00
Agenciamiento de Aduana	190.00
<b>GASTOS EN DESTINO</b>	<b>1,115.88</b>
<b>COSTO TOTAL DE IMPORTACIÓN</b>	<b>700,137.19</b>

Elaboración propia

A continuación, en la tabla 4.4, se presenta la inversión requerida detallada considerando un tipo de cambio a dólares americanos de S/. 2.5.

Tabla 4.4 Inversión requerida detallada

CONCEPTO	VALOR ECONÓMICO <sup>54</sup>	
<b>Adquisición de envasadoras Pack 201</b>	US\$ 700,137.19	S/. 1, 750,342.98
<b>Software Arena Professional<sup>55</sup></b>	US\$ 43,400.00	S/. 108,500.00
<b>Software Minitab Professional<sup>56</sup></b>	US\$ 1,495.10	S/. 3,737.50
<b>Sueldo mensual del especialista</b>	US\$ 1,000.00	S/. 2,500.00

Elaboración propia

<sup>51</sup> Envasadoras fabricadas por Robert Bosch GmbH. Cada una tiene un valor FOB de US\$ 250,000, un peso de 2.5 toneladas y se transportan en cajas de 6x2x2 m<sup>3</sup>. Ambas son importadas desde el puerto de Santos/SP en un contenedor de 40 pies. Para estimar el costo de importación se utiliza la partida arancelaria 8438.10.10.00 y se consideran los beneficios del Acuerdo de Complementación Económica entre Perú y los Estados del MERCOSUR suscrito en diciembre del 2005. Ver Anexo 29: Propuesta comercial de la envasadora Pack 201.

<sup>52</sup> El operador portuario DP World Callao S.R.L. brinda siete días libres de almacenamiento.

<sup>53</sup> Transporte desde el depósito aduanero temporal del Muelle Sur al almacén de la empresa; además, incluye la devolución del contenedor vacío al terminal.

<sup>54</sup> Tipo de cambio a dólares americanos de S/. 2.5.

<sup>55</sup> Provisto por Paragon, distribuidor y representante de Rockwell Automation en Brasil y América Latina. Incluye OptQuest. Valor con IGV. Ver Anexo 30: Propuesta comercial de Paragon.

<sup>56</sup> Provisto por Minitab Inc. Valor con IGV. Ver Anexo 31: Propuesta comercial de Minitab Inc.

#### 4.2.2 Beneficios económicos

Para la estimación de los beneficios económicos se ha considerado el incremento en la rentabilidad del proceso, el cual incluye la reducción del nivel de productos no conformes y la disminución de las paradas de línea ocasionadas por la acumulación de bandejas.

Para ello, se evalúan las utilidades generadas por el modelo base y el propuesto en 7.25 horas y la reducción mensual promedio de paradas de línea. Además, se considera que la tercera línea de envasado de galletas es operada durante 288 días completos, 6264 horas, al año.

Tabla 4.5 Estimación de beneficios económicos

CONCEPTO	MODELO BASE	MODELO PROPUESTO	DIFERENCIA	VARIACIÓN
Utilidad estimada por turno	S/. 41,745.20 <sup>57</sup>	S/. 42,363.00 <sup>58</sup>	S/. 617.80	1.5%
Paradas por acumulación de bandejas al mes	27.14 horas <sup>59</sup>	18.69 horas	-8.45 horas	-31.12% <sup>60</sup>
<b>Beneficio económico anual<sup>61</sup></b>	$\frac{617.80}{7.25 \text{ horas}} * 6264 \text{ horas} + 8.45 * 12 * \frac{42363}{7.25 \text{ horas}} = \text{S/. } 1, 126,276.88$			

Elaboración propia

#### 4.2.3 Flujo de caja

En la tabla 4.6, con cifras en nuevos soles, se presenta el flujo de caja del proyecto, el cual reporta una TIR de 29.30% y un VAN de S/. 1, 319,487.51.

Tabla 4.6 Flujo de caja del proyecto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Aumento de la utilidad esperada	-876,649.20 <sup>62</sup>	533,779.20	533,779.20	533,779.20	533,779.20	533,779.20
Reducción de paradas	0.00	592,497.68	592,497.68	592,497.68	592,497.68	592,497.68
<b>Beneficios económicos</b>	<b>-876,649.20</b>	<b>1,126,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>
Adquisición de envasadoras	1,750,342.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Software Arena Professional	108,500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Software Minitab Professional	3,737.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sueldo anual del especialista	0.00	30,000.00	30,000.00	0.00	0.00	0.00
<b>Inversión requerida</b>	<b>1,862,580.48</b>	<b>30,000.00</b>	<b>30,000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Efectivo al final del periodo</b>	<b>-2,739,229.68</b>	<b>1,096,276.88</b>	<b>1,096,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>	<b>1,126,276.88</b>

Elaboración propia

<sup>57</sup> Promedio de las utilidades reportadas en las diez réplicas usadas para la validación del modelo base.

<sup>58</sup> Promedio de las utilidades alcanzadas por el modelo propuesto; ver cuarto tratamiento de la tabla 3.44.

<sup>59</sup> Promedio mensual calculado a partir de las paradas de línea reportadas entre enero y octubre del 2013.

<sup>60</sup> Variación del inventario de productos en proceso promedio con la cual se estima la reducción de paradas de línea debido a la acumulación de bandejas en el modelo propuesto; ver tabla 4.1.

<sup>61</sup> La demanda insatisfecha justifica el uso del tiempo ahorrado debido a la disminución de las paradas de línea.

<sup>62</sup> Utilidad no percibida debido a que el proceso trabajará al 50% de su capacidad durante 14 días.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones del diagnóstico y mejora de procesos propuesta para la tercera línea de elaboración y envasado de galletas de Galletería Lima, ABC S.A.C.

### 5.1 Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones del presente trabajo de investigación.

- En Galletería Lima, la tercera línea de elaboración y envasado de galletas es la más relevante y crítica considerando a los objetivos estratégicos de la compañía como criterios de evaluación. Entre las seis líneas de producción, se destaca como la de rentabilidad más alta, 36.67% de la utilidad total generada; mayor volumen de producción, 39.89% del total de toneladas producidas; mayor promedio mensual de merma valorizada, 50.81% de la suma de promedios; y mayor requerimiento de personal operario, 29.55% del número total de operarios.<sup>63</sup>
- Sus principales problemas son la acumulación de bandejas, la mala calibración y ajustes continuos de las envasadoras, los altos niveles de productos no conformes y las fallas imprevistas de equipos; los cuales explican el 80% de las pérdidas económicas del proceso, valorizado en US\$ 1.37 MM.
- Después de realizar un análisis de causas y evaluación de contramedidas, se concluyó que para mitigarlos debía diseñarse un balance de línea eficiente para el proceso de envasado, utilizar nuevas y constantes velocidades de operación, previamente optimizadas considerando a la maximización de la función utilizada como objetivo, y sustituir dos operarios encargados de la alimentación manual de galletas de bajo nivel de experticia por unos estables; e invertir en la compra e implementación de dos nuevas envasadoras que reemplacen a las obsoletas.

---

<sup>63</sup> Los porcentajes han sido estimados considerando los resultados desde el mes de enero del 2012 hasta el mes de octubre del 2013.

- Las mejoras propuestas fueron validadas utilizando un modelo de simulación de eventos discretos y un diseño de experimentos fraccionados y simulados, donde se verificó la significancia de ambas en la rentabilidad del proceso. Con ellas se puede alcanzar una utilidad estimada de S/. 42,363.00 en 7.25 horas, turno normal de trabajo considerando 45 minutos de refrigerio, 1.5% mayor a la del modelo base.
- Además, su implementación permite reducir el inventario de productos en proceso en 22.99% y 47.38% en el envasado primario y secundario respectivamente, disminuir el nivel de productos no conformes en 11.94%; así como también, evitar las continuas calibraciones y ajustes, y minimizar la duración y tiempo entre fallas imprevistas de equipos en las estaciones de trabajo donde se reemplazan las envasadoras primarias obsoletas.
- La inversión requerida asciende a S/. 2, 739,229.68, la cual consiste en la compra y puesta en operación de dos nuevas envasadoras primarias, adquisición de las licencias de Arena Simulation Software y Minitab Statistical Software, y contratación de una persona que se encargue del seguimiento y evaluación del modelo de simulación; mientras que, el beneficio económico anual se estima en S/. 1, 126,276.88, que considera el incremento en la rentabilidad del proceso, la reducción del nivel de productos no conformes, y la disminución de las paradas de línea ocasionadas por la acumulación de bandejas.
- Finalmente, se comprueba la viabilidad económica del proyecto de mejora al obtener una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 29.30% y un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 1, 319,487.51 en un horizonte de cinco años.

## 5.2 Recomendaciones

Los modelos de simulación diseñados pueden ser modificados para aumentar el alcance de próximas mejoras de procesos; a continuación, se presentan los aspectos a considerar.

- El modelo de simulación utilizado solo evaluó el proceso de envasado de la familia de productos más representativa; no obstante, su aplicación se puede replicar en las siete familias restantes utilizando un análisis de datos más amplio.
- Con el fin de realizar mejoras de procesos más integrales aún, se recomienda extender el modelamiento del sistema al proceso de elaboración, ya que condiciona el flujo de ingreso de galletas al área de envasado.
- Realizar simulaciones con mayores longitudes de réplica que permitan profundizar en el análisis de las fallas imprevistas de equipos, su duración y frecuencia.
- Modelar y simular programas de producción más complejos y prolongados, que incluyan paradas rutinarias como los tiempos destinados a los cambios de producto y formato, y al arranque de las líneas; requieran reasignación de operarios estables y no estables a estaciones de trabajo de la línea a la que pertenecen o de otra, y/o no detener la operación durante los refrigerios; y consideren la generación de inventario de productos en proceso entre turnos de trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alicorp. (s.f.). *Alicorp: Reporte Anual 2012*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://reporte2012.alicorp.com.pe/sobre-alicorp/>

Alicorp. (s.f.). *Memoria Anual 2012*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de [http://www.alicorp.com.pe/pdf/memannual/2012/Alicorp\\_2012\\_Logros.pdf](http://www.alicorp.com.pe/pdf/memannual/2012/Alicorp_2012_Logros.pdf)

Alicorp. (s.f.). *Sitio web de ABC S.A.C.* Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://www.alicorp.com.pe/espanol/nosotros.html>

AméricaEconomía. (2012). *Rankings América Economía*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de Rankings América Economía: <http://rankings.americaeconomia.com/2012/las-500-mayores-empresas-de-peru/sector-alimentos.php>

AméricaEconomía. (2012-2013). *Rakings América Economía*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de [http://rankings.americaeconomia.com/2013/ranking\\_500\\_peru\\_2013/sector\\_alimentos.php](http://rankings.americaeconomia.com/2013/ranking_500_peru_2013/sector_alimentos.php)

Arequipa, A. (s.f.). *CDI*. Recuperado el 28 de 11 de 2013, de [http://www.cdi.org.pe/pdf/PNCP\\_2006/ProyMejora/CAA\\_Equipo\\_de\\_Elite\\_Informe.pdf](http://www.cdi.org.pe/pdf/PNCP_2006/ProyMejora/CAA_Equipo_de_Elite_Informe.pdf)

Barra, J., Da Silva, R., Leal, F., Ferreira, A., & y Tadeu, J. (2009). *Economic evaluation of the increase in production capacity of a high technology products manufacturing cell using discrete event simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.*

Box, G., Hunter, W., & Hunter, J. S. (1999). *Estadística para investigadores: Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos*. México D.F.: Editorial Reverté.

- Brown, J. E., & Sturrock, D. (s.f.). *Identifying cost reduction and performance improvement opportunities through simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.*
- Córdova Zamora, M. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial.* Lima: Moshera.
- INEI, I. N. (2009). *Consumo de Alimentos y Bebidas.*
- L. Scheaffer, R., Mendenhall, W., & Ott, L. (1986). *Elementos de muestreo.* (N. Grepe, Ed.) México D.F., México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Lohr, S. (2000). *Muestreo: Diseño y Análisis.* (I. T. Editores, Trad.) México : Duxbury Press.
- Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de Experimentos* (Segunda ed.). México D.F.: Limusa Wiley.
- Montgomery, D. (2011). *Control estadístico de la calidad.* México: Limusa Wiley.
- Shannon, R. (1988). *Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación.* México.