

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - CHILE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

***MODELO DE PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN  
BASADO EN SIMULACIÓN APLICADO A UNA  
PLANTA PROCESADORA DE MARISCOS EN***

***CONSERVA***

por

**Norma Gabriela Leal Saldivia**

Profesor Guía:

**Dr. Eduardo Javier Salazar Hornig**

Concepción, Agosto de 2014

Tesis presentada a la

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO**  
**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**



Para optar al grado de

**MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **RESUMEN**

### ***MODELO DE PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN BASADO EN SIMULACIÓN APLICADO A UNA PLANTA PROCESADORA DE MARISCOS EN CONSERVA***

**Norma Gabriela Leal Saldivia**

**Agosto de 2014**

**PROFESOR GUÍA: Dr. Eduardo Javier Salazar Hornig**  
**PROGRAMA: MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En el presente trabajo se desarrolla un modelo de simulación que apoya el proceso de toma de decisiones para la planificación de producción de corto y mediano plazo en una empresa que elabora y exporta productos del mar en conservas. Para realizar este trabajo fue necesario llevar a cabo un levantamiento de las actividades que se desarrollan junto a la medición de productividades, de tal forma que el modelo de simulación represente adecuadamente las operaciones de los procesos productivos de la empresa. La determinación de la planificación se estableció por medio de un análisis de escenarios basado en volúmenes de abastecimientos históricos de materia prima de los productos en análisis, sumado a condiciones operacionales de la planta. Se concluye que esta herramienta de simulación es útil para definir la asignación de recursos productivos, como también permite definir el tamaño de *batch* para el proceso de esterilización en la autoclave a fin de no obtener producto rechazado por control de calidad. También es posible calcular la materia prima necesaria para trabajar con la dotación disponible dentro de la jornada de trabajo, permitiendo así lograr una eficiente planificación de la producción.

Palabras Claves: Planificación de la producción, simulación, alimentos enlatados.

# **ABSTRACT**

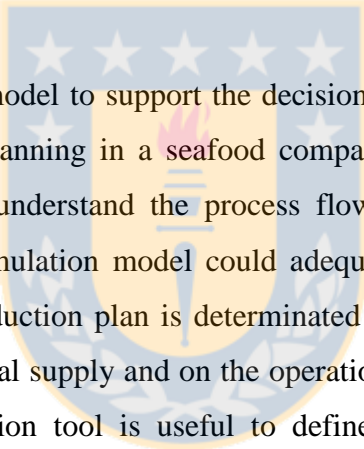
## ***SIMULATION BASED PRODUCTION PLANNING MODEL APPLIED TO A SHELLFISH PROCESSING PLANT***

**Norma Gabriela Leal Saldivia**

**August 2014**

**THESIS SUPERVISOR: Dr. Eduardo Javier Salazar Hornig**

**PROGRAM: MASTER IN INDUSTRIAL ENGINEERING**



In this thesis a simulation model to support the decision making process for the short and medium term production planning in a seafood company is developed. To perform this study it was necessary to understand the process flow, and to measure the operations productivity, so that the simulation model could adequately emulate the real company's process over time. The production plan is determined by a scenarios analysis, based on historical data of raw material supply and on the operational conditions of the factory. One concludes that this simulation tool is useful to define the resources allocation and to determine the batch size of the sterilization process in order not to get production rejected by the quality control system. It is possible to estimate the amount of raw material needed on a given availability of resources within a working day.

**Keywords:** Production planning, simulation, canned food.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Origen del Tema.....	1
1.2 Objetivo General .....	4
1.3 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO.....	5
2.1 Descripción de la empresa .....	5
2.2 Sistema Productivo.....	6
2.3 Descripción de los pasos operacionales .....	8
2.4 Presentación de los productos .....	11
2.5 Proceso de Conservería .....	14
2.6 Instalaciones y puestos de trabajo .....	15
2.7 Máquina cerradora .....	17
2.8 Comercialización.....	19
CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DE SIMULACIÓN EN PROCESOS PRODUCTIVOS .....	20
3.1 Proceso de planificación de la producción.....	20
3.2 Programación de la producción.....	21
3.3 Simulación y el problema de la planificación de producción .....	21
3.4 Simulación de Sistemas.....	21
3.5 Planificación y Programación de la producción.....	23
CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MARISCOS EN CONSERVA.....	29
4.1 Elementos de un modelo de simulación.....	29
4.2 Objetivo del estudio de simulación .....	30
4.3 Alcances y supuestos.....	30
4.4 Descripción del modelo.....	31
4.5 Medidas de desempeño .....	32
4.6 Parámetros del modelo.....	33
4.7 Distribución de probabilidades .....	34
4.8 Locaciones.....	35
4.9 Entidades .....	37
4.10 Duración de las corridas de simulación .....	37

4.11 Determinación del número de réplicas.....	37
4.12 Validación del modelo .....	38
<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE ESCENARIOS .....</b>	<b>41</b>
5.1 Planificación de la producción con producto P13.....	43
5.2 Planificación de la producción con producto P7.....	43
5.3 Planificación de la producción considerando abastecimiento de dos productos.....	44
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>
Anexo 1: Productividades, (kg/hh) .....	53
Anexo 2: Distribuciones de probabilidades ajustadas.....	56
Anexo 3: Resultados de las variables por escenario de análisis.....	62



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Máquinas utilizadas en el proceso de conservería.....	7
Tabla 2.2: Productos fabricados según formato de envase.....	12
Tabla 2.3: Dimensiones envases 3 piezas 76 x 113.....	13
Tabla 2.4: Dimensiones envases 2 piezas RO-200-84.....	13
Tabla 2.5: Dimensiones del envase RR-90.....	13
Tabla 2.6: Dimensiones del envase RR-125.....	14
Tabla 2.7: Máquinas cerradoras usadas según formato y especie. ....	18
Tabla 2.8: Presentación final del producto según formato. ....	19
Tabla 4.1: Distribución de probabilidades.....	35
Tabla 4.2: Validación del modelo.....	40
Tabla 5.1: Parámetros definidos para cada escenario.....	42
Tabla 5.2: Medidas promedios y % de utilización para escenarios 1a y 1b. ....	43
Tabla 5.3: Medidas promedio y % de utilización escenarios 2a y 2b.....	44
Tabla 5.4: Medidas promedios y % de utilización para escenarios 3a, 3b y 3c. ....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Organigrama de la empresa.....	5
Figura 2.2: Diagrama de flujo de proceso para los productos en estudio.....	8
Figura 2.3: Horarios de proceso.....	14
Figura 2.4: Layout de las instalaciones.....	16
Figura 2.5: Operación de cierre. ....	17
Figura 4.1: Esquema general de la simulación. ....	32

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

La planificación de la producción ha sido un tema que ha abierto un gran campo de investigación, dado que hoy en día, trabajos tardíos como adelantados a la fecha de entrega, causan costos para las fábricas. Un trabajo tardío podría generar multas por atraso o en el caso extremo, la pérdida del cliente. Así también, fechas de entrega por adelantado generan costos de almacenamiento como también, daños por manipulación y posible vencimiento del producto almacenado.

En una empresa que fabrica mariscos en conservas, lo anteriormente expuesto es un tema que no se debe descuidar, más aún si sobre del 90 % de la producción está destinada a exportación de *delikatessen*, como es el caso de la empresa en estudio.

### **1.1 Origen del Tema**

La empresa analizada en el presente trabajo es una compañía chilena líder en la elaboración y exportación de productos del mar en conservas, con alto valor agregado. Ubicada en la región del Biobío, se abastece de materias primas provenientes de todo el país, desde Arica hasta Puerto Natales.

La planta no cuenta con un modelo de gestión que apoye al proceso de toma de decisiones, por lo tanto, se necesita resolver la problemática existente, que consiste en el adecuado uso de herramientas para resolver el problema de planificación y programación de la producción en un horizonte de corto plazo (24 hrs.). Por condiciones propias del proceso, existe un gran número de objetivos en conflicto y restricciones impuestas por el sistema productivo. Estos objetivos deben cumplirse sin afectar la productividad de la empresa. Las restricciones son, por ejemplo, el volumen de abastecimiento diario de materias primas, el cual está directamente relacionado con las condiciones climáticas de la zona de extracción, variable sobre la cual la empresa no tiene control. Así también, la asignación de recursos para llevar a cabo la producción con el personal de turno sin trabajar horas de sobretiempo. Además existen restricciones internas, que pueden ser, por ejemplo, tiempos de máximo de espera entre etapas, gramos de carne envasada, entre otros.

Considerando el alto valor agregado de los productos, su gran variedad en familia de productos, formatos de envases, abastecimiento de materias primas, sujeto, principalmente a las condiciones climáticas, se hace más complejo aún establecer un modelo de gestión eficiente.

La productividad es un factor crítico para que la empresa sea rentable en el tiempo y sus productos permanezcan en el mercado. Por lo tanto es importante detectar las etapas del proceso donde mejoras tendrán un alto impacto en el aumento de la productividad.

Se identifican en la planta las etapas genéricas del proceso de conservería, que son;

1. Recepción de materia prima
2. Desconche
3. Eviscerado
4. Macerado
5. Clasificado
6. Dosificado/Envasado
7. Adición líquido de cobertura
8. Sellado
9. Esterilizado
10. Enfriado
11. Etiquetado
12. Almacenamiento



Las etapas donde, el marisco pierde más rendimiento y que podría evitarse con una planificación eficiente son: desconche, dosificado y esterilizado comercial. Además, se pueden disminuir los tiempos de espera principalmente en la etapa de Sellado (cierre hermético). No obstante lo anterior, en las otras etapas es importante considerar los tiempos de espera entre procesos.

Para evitar descomposición, los bivalvos deben ser desconchados en el menor tiempo posible desde su hora de extracción, es por esto que, dado que gran parte del abastecimiento proviene de la Región del Biobío, la materia prima es recepcionada en planta siendo esta etapa el primer paso operacional del proceso, dando así inicio al primer turno de trabajo.



Una mala programación de actividades afecta considerablemente a las etapas antes mencionadas. El exceso de abastecimiento de materia prima implica destinar un cierto porcentaje del abastecimiento a cámaras de frío, como también mayor asignación de mano de obra a esta etapa debilitando las etapas siguientes.

La situación contraria implica obtener el producto de la cámara de congelación para descongelarlo y destinarlo a producción, con el tiempo muerto asociado a la espera de descongelación del producto.

A la vez, una buena planificación obliga a mantener un stock crítico de materia prima en cámaras de congelación a efecto de absorber los días que no exista abastecimiento de producto fresco o congelado.

Ya en el proceso, el cierre hermético puede realizarse en una misma máquina o en máquinas diferentes según sea el formato de empaque, dependiendo éste de los clientes a los que se destinará el producto.

Los tiempos de cambio de formato o de puesta a punto de las máquinas también son puntos críticos que deben minimizarse a efectos de mejorar la productividad.

El tiempo transcurrido desde que se recibe la materia prima hasta que ingresa a bodega de productos terminados no es más de 36 hrs. Este tiempo total de proceso es un factor importante dado que el producto no pierde sus características organolépticas de sabor y textura, que lo diferencia respecto de otras marcas, por lo que es preferido por los clientes, tanto en el extranjero como a nivel nacional.

Lo explicado anteriormente justifica la decisión de la gerencia general de disponer recursos para realizar un análisis de productividad y proponer mejoras, como por ejemplo a través de un modelo de gestión productiva.

Considerando que la planta no posee un modelo de gestión productiva, y que una de las 3 grandes metas de la empresa es mejorar la productividad, es que se ha definido para el presente estudio como objetivo general, lo que se detalla a continuación.

## 1.2 Objetivo General

Desarrollar un modelo de gestión productiva, basado en simulación para apoyar la toma de decisiones de la planificación de la producción de corto y mediano plazo.

## 1.3 Objetivos Específicos

Para el cumplimiento del objetivo general, es necesario que llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la productividad y balance de la línea de producción.
- Determinar, a través de simulación, la capacidad de producción en función de una mezcla de productos a procesar.
- Desarrollar planes y/o programas de producción mediante un modelo de simulación.

Para que una empresa cumpla con su misión y visión, debe estar respaldada por una programación diaria que garantice y simplifique las tareas necesarias para tal fin.

La hipótesis planteada en el presente trabajo establece que el desarrollo de un modelo de gestión de producción que apoye las decisiones de corto y mediano plazo considerando factores como maquinaria, materia prima, y recursos humanos, permitirá aumentar la productividad de la empresa.

La herramienta de simulación desarrollada permite apoyar la toma de decisiones en la gestión productiva de la empresa, logrando:

- Identificar mejoras en la línea de producción (orientadas a la mejora de productividad de la empresa).
- Determinar la capacidad de producción para una mezcla de productos de mayor demanda.
- Disponer de una herramienta de apoyo a la planificación de la producción de mediano y corto plazo.

## CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO

### 2.1 Descripción de la empresa

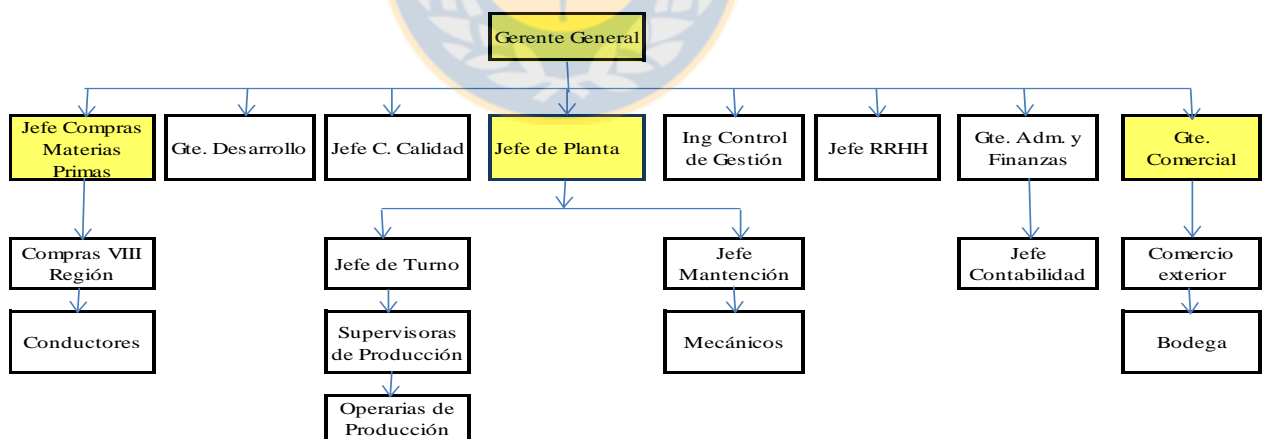
La empresa donde se desarrolló la presente tesis es una compañía chilena líder en la elaboración y exportación de productos del mar en conservas, con alto valor agregado.

Con más de 20 años de experiencia ha logrado posicionarse en todo el mundo, principalmente por su estrategia de diferenciación. Con exportaciones a Europa, Asia y Norteamérica, como también ventas a nivel nacional.

La planta opera bajo el sistema HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), se encuentra registrada ante la FDA (Food and Drugs Administration) y autorizada para exportaciones a la Comunidad Europea. Además cuenta con la exclusiva certificación BRC (British Retail Consortium) y Halal.

En la planta trabajan 140 personas de forma permanente, 90 de las cuales lo hacen directamente en el proceso de conservería, no se incluye acá personal del área de Control de calidad, Mantenimiento, Aseo, Bodega de Productos Terminados y Administrativos.

En la Figura 2.1 se muestra el organigrama de la empresa.



**Figura 2.1:** Organigrama de la empresa (Fuente: empresa).

Se destaca con color las áreas involucradas en la planificación de la producción, Gerente General, Gerente Comercial y Jefe de Compras de materias primas, junto el departamento que hará uso directo de la herramienta de simulación, el departamento de producción a través del Jefe de Planta.

## 2.2 Sistema Productivo

La localización de la empresa se definió considerando los factores de cercanía de las zonas de abastecimiento de la materia prima, disponibilidad de mano de obra, como también cercanía a puertos de embarque, tales como Puerto de Lirquén, Coronel y San Vicente.

La materia prima (mariscos) se compra en concha (materia prima fresca) o desconchada (materia prima fresca enfriada o congelada), las zonas de abastecimiento son las distintas caletas a lo largo de todo el país que cuenten con la autorización requerida por SERNAPESCA para exportación.

El mayor volumen de abastecimiento corresponde a materia prima fresca extraída en la zona del Golfo de Arauco.

La extracción de la materia es artesanal, a través de buzos que capturan directamente del fondo del mar. Para mantener la cadena de frío y evitar pérdidas de calidad de la materia prima fuera de los estándares permitidos, el transporte a la planta se realiza en camiones frigoríficos.

Existen 2 factores críticos, materia prima y tamaño del envase, que son claves para las operaciones de cerrado y esterilización por que afectan los tiempos de *setup* de las cerradoras y tiempos de proceso térmico en el autoclave.

El tamaño del envase y gramos de carne contenida está especificado por el cliente.

La tasa de producción de cada producto es fluctuante debido a las condiciones estacionales del marisco y de su rendimiento en periodos de desove.

Los ingredientes utilizados son los típicos para el proceso de conservería y autorizados para consumo humano según mercado de destino. Los aditivos más agua potable forman el líquido de cobertura, que acompaña a la carne de marisco dentro del envase.

Dado que todo el producto se comercializa con etiqueta o dentro de estuches, según corresponda el formato, los insumos utilizados son principalmente etiquetas, estuches y cajas de cartón con o sin litografiar.

En casos puntuales, la carga se despacha palletizada, cubierta con film y amarrada con zunchos plásticos vía aérea, de lo contrario las cajas se cargan dentro del contenedor, maximizando el volumen útil (vía marítima).

El producto elaborado es en base a mariscos, tales como Navaja (*ensis macha*), Navajuela (*tagelus dombeii*), Culengue (*gari solida*), entre otros. Destinados a consumo humano directo, empacado en envases metálicos, herméticamente sellados y preservado mediante un proceso térmico de esterilización comercial.

Almacenado en ambiente libre de humedad, corrientes salinas, exento de agentes corrosivos-oxidantes y resguardado de posibles daños físicos que afecten la integridad del envase y por ende la seguridad del producto; de tal manera que la duración sea de 4 años a partir de la fecha de elaboración impresa de forma indeleble en la tapa de cada envase.

Si bien el producto envasado es marisco, éste puede tener distintas presentaciones según sea el formato del envase metálico, la cobertura utilizada, peso drenado y la presentación del marisco dentro del envase. Lo anterior implica que una misma especie de mariscos puede generar más de un producto final.

El empaque final es en cajas que pueden contener 12, 24 ó 50 envases por caja.

La maquinaria utilizada para la fabricación de las conservas son principalmente las máquinas utilizadas en el proceso de desconche automático, 2 máquinas lavadoras de mariscos, 5 máquinas cerradoras, una máquina codificadora InkJet y un autoclave.

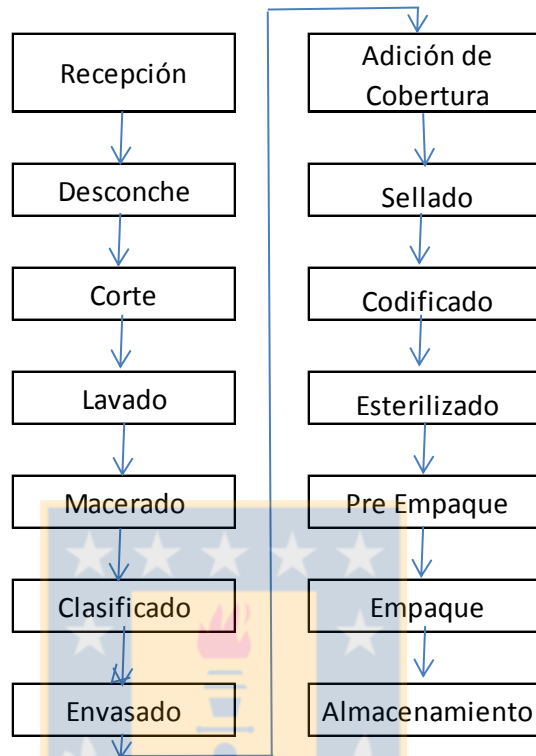
La Tabla 2.1 presenta las principales máquinas utilizadas en el proceso de conservería.

Proceso	Máquinas	Descripción funciones
Desconche	Tina de acondicionamiento	Ducha en línea con agua corriente para remoción de arena
	Cocedor	Cocción a vapor (95 - 100° C por 1 a 3 minutos según el tipo producto). Con la temperatura se relaja el marisco, disminuyendo la tensión de los músculos abductores. Esto facilita la etapa siguiente de desconche
	Vibrador	Desconche automático producido por vibraciones
	Tina de Flujo laminar	Enfriamiento de la carne con agua en contraflujo a temperatura ambiente
Lavado	Lavadora	Lavar las unidades para remover arena y restos de vísceras por medio de agua en agitación
Cerradoras	M1	Realización de cierre hermético entre tapa y cuerpo del envase
	M2	
	M3	
	M4	
	M5	
Esterilizado	Autoclave	Esterilización comercial, destruir las esporas de <i>crostitidium botulinum</i>

**Tabla 2.1:** Máquinas utilizadas en el proceso de conservería.

### 2.3 Descripción de los pasos operacionales

El diagrama de flujo para uno de los productos de mayor venta se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Diagrama de flujo de procesos para los productos en estudio.

A continuación se describen sintéticamente las etapas de transformación a las que es sometida la materia prima para obtener el producto terminado.

**Recepción de materia prima:** Consiste en descargar los vehículos de transporte, pesar (y/o contar) el producto y evaluar la calidad de la materia prima. El producto fresco en concha proveniente de bancos naturales o centros de cultivo es recibido en bandejas o mallas plásticas las que se acopian en la sala de desconche a temperatura ambiente por un período no superior al que permite mantener vivo el recurso. Este proceso se realiza normalmente durante el turno de noche, que contempla una dotación de 10 trabajadores.

**Desconche:** Extracción de valvas de producto en concha, en sistema continuo de vapor directo o discontinuo (con aplicación de calor) o manual (sin aplicación de calor). Luego se efectúa un pesaje (o conteo) para control de rendimiento y/o pago de proveedores según tipo de recurso.

**Corte:** Consiste en la extracción manual de ribetes, riendas y contenido estomacal, bajo un chorro de agua y con ayuda de un cuchillo o tijeras. Las unidades cortadas son transportadas dentro de bandejas individuales a través de una cinta hacia la estación de pesaje. El producto recortado y lavado es pesado para control de rendimiento. Es un proceso manual, con una dotación promedio de 40 operarias en el turno de día y cinco operarias en el turno de noche.

Por la importancia de la supervisión de esta etapa y control de rendimientos por operaria, es política de la empresa evitar que se realice durante el turno de noche, salvo situaciones de excepción.

**Lavado:** Consiste en verter las unidades recortadas a una máquina lavadora a razón de 50 kilos por *batch*, para remover arena y restos de vísceras por medio de agua en agitación. El agua se recambia completamente junto con cada *batch* de lavado. Esta operación dura 3 a 8 minutos según el tipo de producto. Posteriormente, el producto es pesado para control de rendimiento.

**Macerado:** El producto se deposita en tinas de acero inoxidable (2000 litros de capacidad cada una) que contienen una solución de agua. El tiempo máximo de permanencia es de 1 hora según la cantidad y tipo de producto.

**Clasificación:** Consiste en la homogenización manual por tamaño y/o color del producto entero, que se efectúa en el mesón de clasificado. Una vez clasificado, el producto es conducido a través de la cinta hacia carros o bandejas, o bien se dispone inmediatamente dentro de tarros previamente lavados (como ocurre con el chorito) y éstos dentro de bandejas, para ser transportados a la siguiente operación. En este proceso, la dotación promedio es de 40 operarias.

**Envasado – Dosificado:** Envasado y/o Dosificado (según corresponda) en balanzas digitales del producto proveniente de las etapas anteriores. El peso de llenado de los envases está dado según especificaciones de producción. Los pesos no deben exceder los señalados en los estudios de penetración de calor respectivos. Los productos que se destinan a España son dosificados en su peso de llenado antes de ser introducidos al tarro. Para los demás productos el Dosificado y Envasado se efectúan simultáneamente. El abastecimiento de tarros (previamente lavados) se efectúa en forma continua a través de rieles. El tiempo de espera en esta etapa para que el producto sea sellado es de máximo 3 horas.

**Adición de cobertura:** Consiste en la preparación y adición al producto de una solución a base de salmuera y/o aceites comestibles, la cual puede llevar ingredientes tales como especias, condimentos, y aditivos permitidos. Una vez que la temperatura de la solución alcanza como mínimo los 70° C se adiciona al producto por un sistema de duchas continuas.

**Sellado:** Corresponde a la operación de tapado para lograr el doble cierre hermético. Para latas de formato regular esta operación se realiza con máquinas automáticas multicabezales, o bien para determinados formatos, máquinas de un cabezal semiautomáticas. Para el caso de formatos irregulares se emplean máquinas automáticas monocabezal. El tiempo de espera en esta etapa para que el producto sea esterilizado es de máximo 3 horas desde su tapado, y no más de 4 horas en productos que requieren decorado, siempre que no se exceda 3 horas desde que se les adiciona el líquido de cobertura. Tras el tapado los productos en aceite son sometidos a un lavado por inmersión durante 1 a 3 segundos en agua tibia (30-35 °C aproximadamente) para la remoción de residuos de aceite.

**Codificado:** Las latas se codifican en la tapa una a una utilizando un sistema de inyección de tinta. La información impresa por este mecanismo se detalla en el capítulo de Trazabilidad.

**Esterilizado:** Los envases sellados se depositan en canastillos metálicos, que luego se colocan en el autoclave, cuya capacidad es de 4 canastillos. Los canastillos tienen un volumen de 0,9 m<sup>3</sup>, por lo tanto la capacidad de envases dependerá del volumen de cada uno de ellos. En el caso particular de este estudio, la capacidad de los canastillos es de 3600 envases formato 76x113 (denominación de envases según NCh 455 Of 70). A cada canastillo se le adosa una cinta termosensible.

El desarrollo del tratamiento térmico es automático y es registrado en cartas. El tratamiento térmico es realizado de acuerdo a tiempos y temperaturas predeterminadas para cada producto y tipo de envase, según los tratamientos definidos en los Estudios de Penetración de Calor realizados por una autoridad de proceso.

**Pre empaque:** Consiste en el secado y la aplicación de una película de vaselina o aceite vegetal con un paño limpio sobre la superficie del sello del tarro, con el objeto de minimizar la posibilidad de corrosión durante el almacenamiento. La vaselina no se aplica a tarros de aluminio. De no ser embalados en forma definitiva inmediatamente los tarros son introducidos, en cantidad variable según el formato, dentro de cajas de cartón blancas de uso



interno con el código impreso en unos de sus costados (tipo de producto, código y fecha de elaboración).

**Almacenamiento 1:** Corresponde al período de almacenamiento en bodega, por un período máximo de 1 semana, del producto procedente de la etapa anterior hasta que se inicia la etapa de etiquetado o estuchado.

**Empaque:** Corresponde a la incorporación manual de la etiqueta o el estuche a cada tarro según tipo de formato y mercado de destino. Rotulación en el estuche. Las latas etiquetadas y/o estuchadas provenientes del mismo lote de preencajado son traspasadas en cantidad variable, según el formato y requerimientos comerciales, a la caja definitiva. Las cajas son selladas y rotuladas.

**Almacenamiento:** Corresponde al período de almacenamiento en bodega, por un período máximo de 2 años, del producto procedente de la etapa anterior antes de su despacho.

## 2.4 Presentación de los productos

Para la empresa en estudio, un producto está definido por:

- Especie a envasar
- Kilos drenados de carne
- Formato de empaque primario
- Calibres

La **especie** se refiere al tipo de marisco, ya sea crustáceo, cefalópodos o moluscos.

**Kilos drenados** corresponden a la masa de producto escurrida posterior al proceso térmico y tiempo de reposo.

**El formato de empaque primario** (envase metálico) se refiere a las dimensiones del envase. Tiene directa relación con el uso de la adecuada máquina cerradora, dado que estas máquinas no son multiformatos.

**Calibre** es un indicador del número de unidades de mariscos dentro del envase respetando el rango de peso drenado. El calibre tiene directa relación con el tamaño de las unidades contenidas dentro del envase.

La Tabla 2.2 muestra los productos fabricados y formato de empaque primario. Se destaca en color aquellos productos que se procesan en una misma línea de producción que corresponde al diagrama de flujo presentado en la Figura 2.2.

A solicitud de la empresa, no se indican los nombres comerciales de los productos, dándoles a cada uno de ellos un nombre de fantasía.

Dos de estos productos, P7 y P13 son los que serán considerados en los distintos escenarios de planificación de la producción, dado que son parte de los productos gourmet, tienen mayor volumen de venta histórica y tiene etapas de procesos comunes con otros 3 productos, sumado a que la base de datos de productividad en el año 2013 es más extensa para estos 2 productos.

Producto	76 x 113	103 x 113	RR-90	RR-125	RO-835	RO-200	RO-150	RO-120	RO-170	RO-350	OL-120
P1	✓										
P2	✓		✓	✓	✓						
P3	✓		✓	✓	✓						
P4	✓		✓	✓	✓						
P5			✓			✓				✓	
P6			✓	✓							
P7	✓		✓	✓							
P8			✓				✓	✓			
P9			✓	✓							
P10	✓										
P11	✓										
P12			✓	✓							
P13	✓		✓	✓							✓
P14	✓		✓	✓							
P15		✓				✓					
P16		✓				✓					
P17		✓									
P18											
P19						✓			✓		

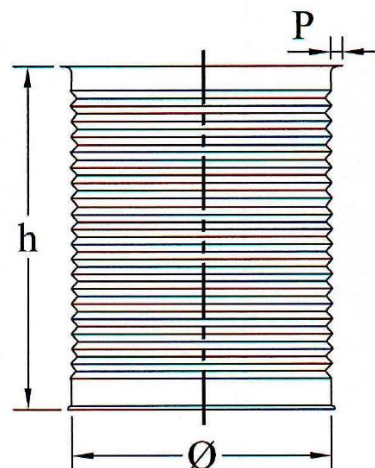
**Tabla 2.2:** Productos fabricados según formato de envase.

Los envases pueden ser fabricados en 3 piezas (cuerpo, tapa y fondo) o en 2 piezas (embutido y tapa).

La nomenclatura usada para denominar un envase 3 piezas obedece a la Norma Chilena Oficial NCh 455 Of 70. Tiene directa relación con la altura del envase cerrado y diámetro nominal. La nomenclatura usada para denominar un envase embutido obedece a la Norma UNE-125-200-92

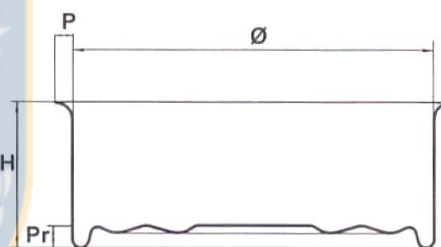
Las Tablas 2.3 y 2.4 muestran las dimensiones de los envases de sección circular 76 x 113 y RO-200-84.

DESCRIPCIÓN	ENVASE (mm)		TOLERANCIA	
	SIGLA	MEDIDA	+	-
CAP. VOLUMETRICA (C.C)	—	446	11	11
ALTURA (Sin Tapa)	h	112.50	0.30	0.30
Ø INTERIOR	Ø	72.95	0.05	0.05
ANCHO PESTAÑA	P	2.70	0.20	0.20
Nº RODONES	—	19	—	—
PROF. DE RODON	—	0.35	0.20	0.20



**Tabla 2.3:** Dimensiones envases 3 piezas 76 x 113 (Fuente: INESA Chile S.A.).

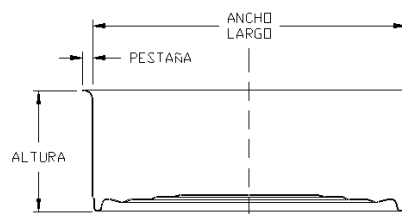
DESCRIPCION	SIGLA	MEDIDA	TOLERANCIA	
			+	-
			ALTURA	H
PROFUNDIDAD	h 1	0,90	0,15	0,15
PESTAÑA	P	2,75	0,20	0,20
DIAMETRO	Ø	83,55	0,15	0,15



**Tabla 2.4:** Dimensiones envases 2 piezas RO-200-84 (Fuente: INESA Chile S.A.).

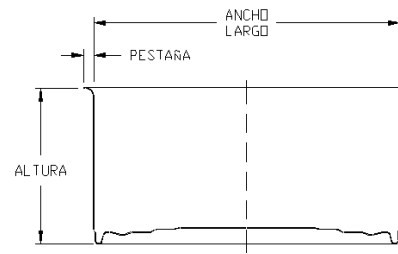
Las Tablas 2.5 y 2.6 muestran las dimensiones de los envases de sección rectangular RR-90 y RR-125

NORMA	MEDIDA	TOLERANCIA	
		+	-
LARGO	104,10	0,30	0,30
ANCHO	59,20	0,30	0,30
ALTURA	21,90	0,20	0,20
PESTAÑA	3,00	0,20	0,20



**Tabla 2.5:** Dimensiones del envase RR-90 (Fuente: INESA Chile S.A.).

NORMA	MEDIDA	TOLERANCIA	
		+	-
LARGO	104,10	0,30	0,30
ANCHO	59,20	0,30	0,30
ALTURA	27,10	0,20	0,20
PESTAÑA	3,00	0,20	0,20



**Tabla 2.6:** Dimensiones del envase RR-125 (Fuente: INESA Chile S.A.).

Dado la diversidad de formatos elaborados y los distintos tiempos de proceso de cada uno, la productividad de la planta se mide en cajas tipo. Este concepto es una relación en kilos carne respecto a la caja estándar de 24 envases formato 76 x 113 con 200g como peso drenado.

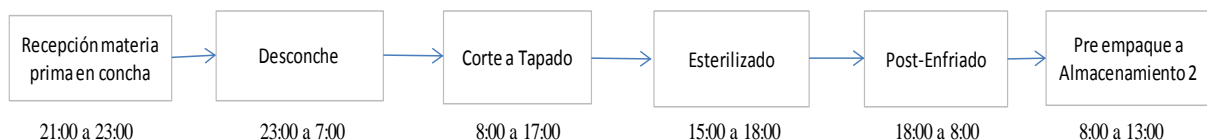
Los kilos carne corresponden a la masa escurrida del marisco contenido en un envase, posterior al proceso térmico y a un periodo de reposo de 8 hrs. aproximadamente.

Considerando el peso escurrido de 200 g para un envase 76 x 113, la masa de una caja tipo es 4,8 Kg. Luego para obtener la equivalencia, los kilos drenados de una caja de un formato cualquiera equivalen a la multiplicación de los kilos drenados de un envase por la cantidad de envases contenidos en la caja, todo lo anterior dividido por 4,8 Kg.

## 2.5 Proceso de Conservería

El proceso de conservería obedece a un flujo lineal donde se necesita del cumplimiento de la etapa previa para avanzar en el proceso.

En condiciones normales (abastecimiento inferior a 8 toneladas concha), los horarios de proceso se indican en la Figura 2.3



**Figura 2.3:** Horarios de proceso.

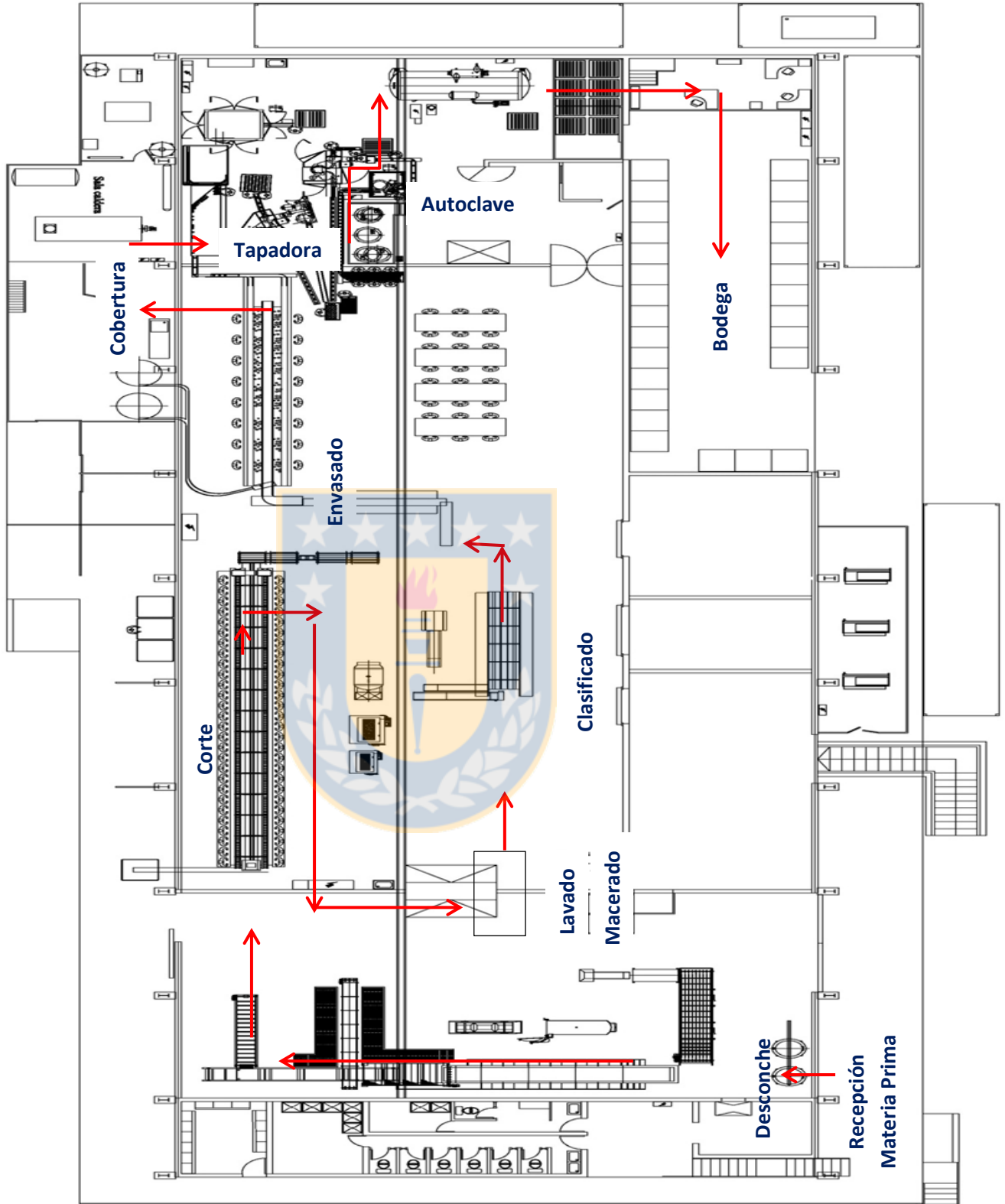
La Figura 2.3 indica que el proceso de transformación de materia prima (marisco en concha) a producto terminado (marisco en conserva para consumo humano) es de 36 hrs. continuadas aproximadamente.

## 2.6 Instalaciones y puestos de trabajo

Para desarrollar el proceso productivo, la empresa ha dispuesto el layout de sus instalaciones como se indica en la Figura 2.4. Se destacan en el layout sólo las estaciones de trabajo que aplican para el presente estudio.

Dentro de los flujos de proceso, se identifican las etapas finales que son comunes para todos los productos, esto quiere decir que las máquinas donde el producto sufre el proceso de transformación, son comunes desde la etapa de Tapado hasta Esterilizado, por lo tanto, según flujo de proceso el orden secuencial sería: 1) Máquina cerradora y 2) Autoclave.

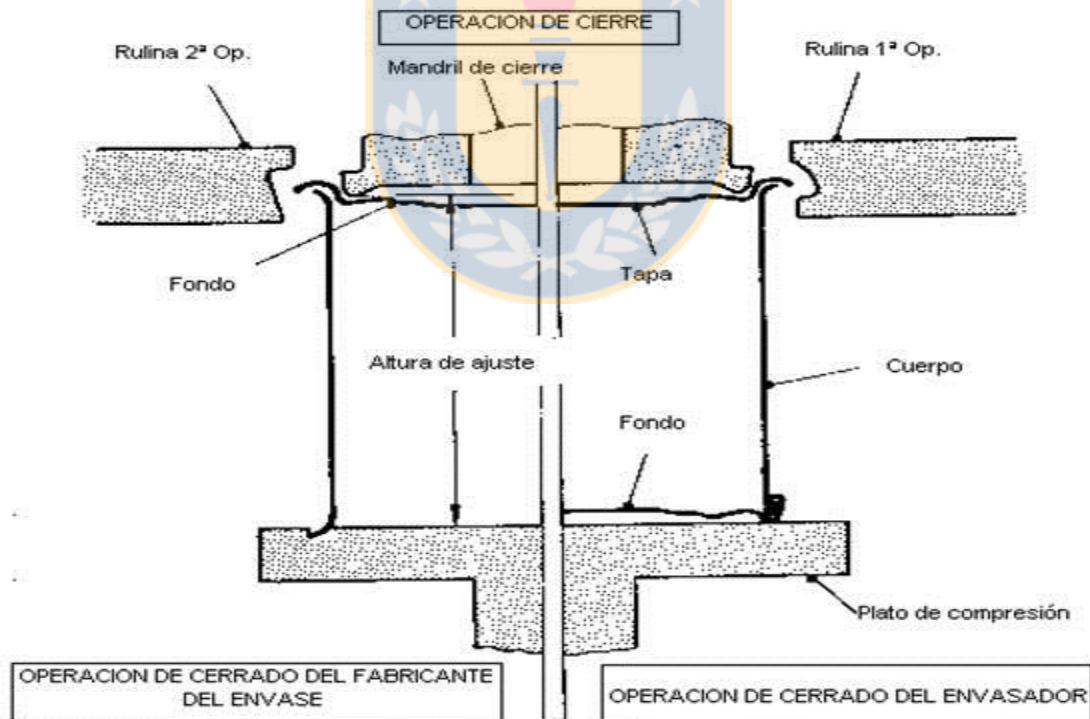




**Figura 2.4:** Layout de las instalaciones (Fuente: Empresa).

## 2.7 Máquina cerradora

Son los equipos que realizan la fijación del fondo o tapa al cuerpo de un envase metálico. Las cerradoras de envase giratorio realizan la operación de cierre mientras el envase gira sobre su eje. Para envases redondos, se suelen emplear cerradoras de envase giratorio, que permiten altas velocidades de cerrado. Cuenta con estaciones o cabezas de cierre, que giran alrededor de un cabezal central donde se encuentran las levas de accionamiento. En cada cabeza va montado el conjunto formado por el mandril, plato de compresión y envase que giran conjuntamente, y los brazos portadores de las moletas (rulinas) que se aproximan para efectuar el cierre. El envase y la tapa son alimentados separadamente, colocándose entre el mandril y el plato, siendo el expulsor quien mantiene la tapa en su lugar mientras el plato sube hasta oprimir el envase contra el mandril. En ese momento comienza a girar el conjunto, produciéndose la primera operación de cierre por la acción de las moletas correspondientes accionadas por una leva; a continuación se efectúa la segunda operación que plancha y acaba el cierre. La Figura 2.4 muestra el conjunto de piezas para la operación de cierre.



**Figura 2.5:** Operación de cierre (Fuente: INESA Chile S.A.).

La empresa cuenta con 5 máquinas cerradoras, usadas según el formato que debe ser cerrado. La Tabla 2.7 muestra las máquinas usadas según formato. Para asegurar la confidencialidad de la información, no se detalla el nombre de la máquina, sino que se identifica como M1 a M5.

Máquinas Cerradoras	Formato
M1	76 X 113
	103 x 113
M1	RR-90
	RR-125
M2	RO-200
	RO-170
M4	OL -120
M5	RO-835
	RO-1000
	RO-120
	RO-550
	RO-125

**Tabla 2.7:** Máquinas cerradoras usadas según formato y especie.

El **codificado** se realiza a la salida de la tapadora, sobre la misma cinta que entrega los envases tapados. El codificado se realiza sobre la tapa del envase con tinta InkJet a través de un sensor de posición.

El **autoclave** es un equipo donde se logra esterilización comercial del producto mediante transferencia de calor al envase. El objetivo de esta esterilización es destruir la espora de clostridium botulinum, la que es productora de la toxina botulínica, el agente causal del botulismo.

El tiempo de esterilización es función de la menor temperatura interna del envase antes del proceso térmico, de la especie y del formato. Por lo anterior, a una temperatura constante, éstos tiempos pueden variar entre 4 a 45 minutos siendo el tiempo total de proceso el correspondiente al tiempo de venteo, esterilización y enfriado, es decir, el ciclo completo podría durar desde 45 a 90 minutos. El autoclave utilizado tiene una capacidad de 3600 envases formato 76 x 113, que equivalen a 133 cajas tipo.

Sin embargo, dado la diversidad de formatos y especies procesadas en el turno, no siempre se usa en su máxima capacidad, existiendo más de un ciclo de esterilizado según sean los formatos y productos fabricados en el día.



## 2.8 Comercialización

Cada primer trimestre de cada año, la gerencia comercial se reúne con los principales clientes y distribuidores en el extranjero con el objetivo de captar sus necesidades de consumo para el año en curso.

En función de esta información, se realiza la planificación de compra de materia prima para el año. En forma paralela, el área comercial elabora el documento oficial en donde quedan registrados los cierres de ventas confirmados con sus respectivas fechas de despacho. Este documento se actualiza semanalmente. Los datos son los necesarios para que las áreas de bodega, control de calidad, producción y comercio exterior puedan rescatar lo que les concierne y trabajar para el cumplimiento del objetivo que es cumplir con la fecha de despacho respetando las cantidades y especificaciones, tanto de exportación como las propias del cliente.

Los productos se comercializan etiquetados o en el interior de estuches de cartón, según sea el formato, y en cajas de cartón. La cantidad de envases contenidos en cada caja tiene relación con el formato del envase y requerimientos del cliente. La Tabla 2.8 muestra la presentación final según formato de envasado.

<b>Formato</b>	<b>Presentación lata</b>	<b>Empaque final. Envases por caja</b>
76 x 113	Etiquetado	24
103 x 113	Etiquetado	24
RR-90	Estuchado	25/42/50
RO-550	Etiquetado	15
RO-1000	Etiquetado	6
RR-125	Estuchado	24/50/70
RO-835	Etiquetado	12
RO-200	Etiquetado	24 / 12
RO-150	Estuchado	24
RO-135	Estuchado	24
RO-120	Estuchado	24
RO-170	Etiquetado	24
RO-350	Etiquetado	12
OL-120	Desnudo	50

**Tabla 2.8:** Presentación final del producto según formato (Fuente: Empresa).

## **CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DE SIMULACIÓN EN PROCESOS PRODUCTIVOS**

Planificación de la producción se puede definir como la determinación de las cantidades a ser procesadas en un horizonte temporal para obtener cada producto. La programación de la producción permite que la planificación de la producción se traduzca en resultados concretos cuantitativos en los centros de producción, además el control de la producción buscará coordinar las distintas operaciones de cada área de trabajo, de manera que el plan de producción se cumpla en los plazos asegurando que en la práctica se concreten los programas y de ocurrir desviaciones, aplicar acciones correctivas.

### **3.1 Proceso de planificación de la producción**

La planificación y programación de la producción se centran en la determinación de los recursos productivos, el volumen y tiempo de producción de los productos, la asignación de la capacidad productiva, en el establecimiento de un equilibrio entre los productos y la capacidad de las distintas áreas de trabajo para lograr competir adecuadamente, por ejemplo, con entregas a tiempo. Planificar la producción comprende una serie de actividades que permitan tomar las decisiones necesarias para lograr un balanceado funcionamiento de los sistemas de producción, procurando junto con la adquisición de la información adecuada, una efectiva utilización de los recursos disponibles dentro de su área, de acuerdo a la dinámica de los hechos reales.

Los sistemas de administración, para lograr el cumplimiento de lo antes señalado, requieren de la existencia de distintos niveles, es decir, una jerarquía de actividades, que se enlazarán unas con otras, es así como en el primer nivel encontramos la planificación estratégica; esta corresponde a la determinación de objetivos, las estrategias y en forma general a los planes globales en relación a estados financieros, en un horizonte de tiempo mayor a 1 año.

Como segundo nivel se tiene la planificación táctica; la cual tiene un horizonte de mediano plazo, con un período de 6 a 12 meses; en este tipo de planificación se pueden definir las políticas, técnicas, herramientas para el mantenimiento y control de la calidad de la producción, entre otras.

El nivel de planificación operacional o de corto plazo es donde se concretan los planes estratégicos y tácticos junto a los objetivos de la empresa con el área de producción, llegando al detalle de la programación, cubriendo un horizonte de tiempo de 1 a 6 meses. En este nivel se encuentra el control de la producción, programación de despachos, balance de líneas, procesos de optimización continua, control de inventarios, calidad, etcétera.

### **3.2 Programación de la producción**

La programación de la producción consiste en la fijación de planes y actividades de la producción, de acuerdo a la prioridad de la operación a realizar, determinado por su inicio y fin, con la finalidad de lograr el nivel más eficiente. La función principal de la programación es establecer el flujo de procesos del área productiva a través de las distintas etapas de producción.

Para la programación es preciso considerar las condiciones actuales de trabajo, además debe aprovecharse al máximo la capacidad del sistema.

### **3.3 Simulación y el problema de la planificación de producción**

La investigación de operaciones es una rama de la matemática que busca apoyar la toma de decisiones utilizando modelos matemáticos, estadísticos y de simulación, entre otros, para analizar sistemas reales en organizaciones.

### **3.4 Simulación de Sistemas**

Una de las técnicas de la Investigación Operativa aplicada al problema del análisis de sistemas es la simulación, que según Shannon (1988) se define de la siguiente manera:

“Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”.

Según lo expresa Churchman (1963), si X es un sistema que simula a un sistema Y (sistema real), entonces deben existir reglas de validación (no exentas de error), que permitan asumir que X es una aproximación o estimación del sistema real Y.

En la programación basada en la simulación, se utilizan principalmente las metodologías de simulación de eventos discretos.

## **Etapas para realizar una simulación**

La mayoría de los autores (ver por ejemplo Naylor, 1996; Churchman, 1963) coinciden en las siguientes etapas para poder realizar un estudio de simulación:

- **Definición del sistema:** Se necesita hacer un análisis del sistema real formal que se desea simular, esto para obtener información como: sistemas con que interactúa el sistema que se va a estudiar, variables del sistema y sus interrelaciones y los resultados esperados para el estudio.
- **Formulación del modelo:** En este paso es necesario definir todas las variables del modelo, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo necesarios para describir al sistema real.
- **Colección de datos:** Hay que definir exactamente los datos requeridos para obtener los resultados deseados; los datos por lo general pueden ser obtenidos de los datos transaccionales almacenados, en caso de que no se cuente con esta información se pueden obtener por medio de la experimentación.
- **Implementación del modelo en un computador:** En este paso se elige la herramienta de software que se va a utilizar para implementar la simulación, o también se puede dar el caso de que se requiera desarrollar la herramienta a utilizar. Después de esto se procede a la implementación del modelo.
- **Validación:** Esta etapa es crucial, para validar los resultados de una simulación. Se puede consultar a los expertos sobre los resultados, exactitud para simular datos históricos, fallos encontrados por el usuario del modelo, entre otros.
- **Experimentación:** Se experimenta con el modelo para obtener los resultados requeridos y realizar un análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
- **Interpretación:** Se interpretan los resultados obtenidos por medio de la simulación y se toma una decisión en base de ellos.
- **Documentación:** Se tiene que realizar una documentación técnica definiendo los datos que se requieren, a manera de manual de usuario para facilitar el uso de la herramienta y del modelo para el usuario.

## **Factores a considerar para realizar una simulación**

Entre los factores a considerar para realizar una simulación podemos encontrar los siguientes:

**Condiciones Iniciales:** Hay que definir un escenario inicial representativo para el modelo de simulación. Si la condición inicial no es representativa y si el sistema evoluciona hacia un estado estacionario, se debe determinar un warm up en el que no se recolecte información, sino hasta que el sistema alcanza el estado estacionario.

**Tamaño de la muestra:** Se debe seleccionar una muestra que pueda ayudar a obtener los resultados requeridos y a su vez reduzca los costos de operación del modelo.

**Diseño de experimentos:** Hay tres tipos principales: Comparación de las medias y varianzas de las alternativas analizadas, determinación de la importancia y el efecto de diferentes variables en los resultados de la simulación, estimación de los valores de un conjunto de parámetros (Coss, 2003; Gansterer, 2013).

### **3.5 Planificación y Programación de la producción.**

Uno de los problemas de la Ingeniería Industrial que ha demandado gran atención a investigadores es, sin duda, el problema de la planificación y programación de la producción (Abarca, 2006).

En problemas estáticos hay un conjunto finito de trabajos consistentes de una secuencia definida de operaciones, requiriendo procesos de varias máquinas que se pueden resolver mediante simulación, sin embargo, esta herramienta es esencialmente útil en problemas dinámicos.

Una simulación es un modelo que imita la realidad (Banks et al., 1996). Puede verse, además, que la simulación ha sido usada para resolver un problema real sobre el 92% de los estudios (problemas de la vida real o hipotéticos), mientras que el 8% restante han explorado cuestiones teóricas sin llevar a cabo experimentos de simulación (Jahangirian, 2009).

Se han desarrollado modelos matemáticos de optimización y algoritmos sub óptimos usando programación, entera, lineal y mixta. Esta alternativa, generalmente no es utilizada en la industria dada la complejidad computacional para resolver estos problemas. No obstante lo anterior, uno de los métodos más usados para resolver el problema de programación de la producción es la simulación computacional. Los modelos de simulación (es decir, simulación de eventos discretos), a diferencia de los modelos de optimización, pueden dar una sólida comprensión del comportamiento dinámico de un sistema, así como también, ayudar a la

evaluación de varias estrategias operacionales. Además, pueden ser analizados problemas de gran tamaño, no siendo esto último una limitante para la solución del problema.

Los modelos de simulación tienen la capacidad de representar complejos sistemas del mundo real y sus restricciones en detalle. Estos problemas son a menudo de gran escala, tienen múltiples criterios, y normalmente en conflicto, por lo que la simulación es un método efectivo para resolverlos a través de la optimización por simulación. Es, además, una poderosa herramienta en la toma de decisiones, capaz de capturar relaciones complejas e interactuar entre varias entidades en un complejo sistema, lo que hace de la simulación una herramienta eficaz para la planificación de la producción (Lin et al., 2012; Chan, 2002).

De los antecedentes que existen en la literatura revisada, no se encontraron trabajos previos de análisis de productividad, planificación y programación de producción en una envasadora de conservas (mariscos u otros productos) analizados mediante simulación (si los hay son muy escasos), por lo que la revisión se concentró en trabajos donde diversos sistemas y procesos productivos fueron analizados a través de esta herramienta.

En cuanto a trabajos que han aplicado simulación en un sistema real, ya sea en áreas tanto de manufactura y servicios como también en el sector público, destacan investigaciones del sector hortofrutícola, donde Parthanadee (2009), estudia el problema de programación de la producción de fruta enlatada fabricada en Tailandia. El objetivo de la investigación fue sobre la programación de múltiples trabajos esperando para ser procesados en autoclaves. Se desea reducir al mínimo dos tipos de medidas de desempeño: tiempo de flujo y tardanzas. El documento propone que para los sistemas que operan bajo diferentes fuentes de incertidumbre (por ejemplo, calidad y cantidad de materias primas que se reciben), un método de programación apropiado es en tiempo real, con la secuenciación de los procesos basados en reglas de despacho. Debido a que se han definido variadas reglas de desempeño, la mejor regla (o conjunto de reglas) que optimizan las medidas de desempeño del sistema se determinan sobre la base de un experimento de simulación computacional. Se utiliza un modelo de simulación que imita el sistema real para evaluar el efecto de las diferentes reglas de secuenciación.

En el rubro automotriz, Diaz-Elsayed y Jondral (2013) presentan un enfoque para la evaluación de las estrategias eficientes y ambientalmente responsables mediante la simulación

de sistemas de fabricación. Analizan un caso de estudio en una compañía de automóviles, donde se consideraron estrategias ambientalmente responsables como reducir la presión en el lavado de máquinas, uso de motores de bajo consumo e integración de los procesos. El problema de optimización fue resuelto usando una heurística (algoritmos evolucionarios), donde el objetivo se definió como minimizar los costos de producción, sujeto a restricciones que incorporan estrategias ambientalmente responsables.

De igual forma, Frantzen et al. (2011) presentan una aplicación industrial de optimización basada en simulación, en la programación y reprogramación de una compleja línea de máquinas en la fabricación de automóviles. Los resultados muestran que estos métodos de programación pueden ayudar a aumentar el rendimiento de la línea y simultáneamente apoyar la toma de decisiones en tiempo real. Los autores presentan también las mejoras en la generación de programaciones óptimas cuando son comparadas con las actuales.

En el área de abastecimiento Chiang y Russell (2009) analizan las cadenas de abastecimiento para un periódico norteamericano de tamaño mediano que se distribuye a hogares y empresas. Los autores usan una combinación de modelos: simulación y una heurística mejorada que dirige la eficiencia y robustez de la solución considerando el impacto y la naturaleza estocástica de varios parámetros en producción y distribución. Sin embargo, dado que el proceso de producción y distribución involucra fenómenos estocásticos, usan simulación para evaluar la solución propuesta.

Un nuevo enfoque integrado hacia la logística, la sustentabilidad y el análisis de calidad de los alimentos, es propuesto por van der Vorst y Tromp (2009), quienes sugieren y ponen en práctica el método mediante la introducción de un entorno de simulación. Incorporan modelos de cambio de calidad de los alimentos, indicadores de sustentabilidad y modelos de simulación de eventos discretos, con el fin de proporcionar un nuevo y mejorado medio para analizar y rediseñar las cadenas de abastecimiento de alimentos. Un ejemplo de caso ilustra los beneficios de su uso en relación a la velocidad y la calidad de la toma de decisiones, como también la creatividad en términos de soluciones alternativas.

Por su parte, Aqlan y Lam (2013) hacen una simulación para comparar un sistema actual (3 líneas de producción separadas) y futuro (2 líneas de producción consolidadas), considerando los tiempos muertos, rendimientos, utilización y trabajos en proceso. Se formula un modelo de

programación entera mixta que optimiza los costos de transporte y tiempos de espera basados en el layout de proceso seleccionado. Los resultados de la simulación dan recomendaciones para mejorar el nivel de desempeño de las medidas del sistema y apoyar en la toma de decisiones.

El modelo de simulación se usó para predecir y validar las operaciones en el ambiente en estudio, también para analizar el rendimiento, ciclo de tiempo, capacidad y utilización. Además, se constituyó en una herramienta para estimar el comportamiento del sistema frente a volúmenes futuros de demanda.

Las fábricas de calzados también han sido foco de estudios, donde autores como Sury (1980) presenta un estudio de simulación real, donde analiza el comportamiento de reglas de despacho, las que fueron seleccionadas con respecto a las características del sistema estudiado, así como algunas de sentido práctico, en particular la regla SOT (*shortest operation time*) y LWR (*least work remaining*). Los resultados del estudio muestran, por ejemplo, que el desempeño de las reglas probadas varían de un departamento a otro. Esto sugiere que la selección de la regla de programación debe estar relacionada con las características de los departamentos. Además, Selman (2012) analiza en qué medida las variaciones de los modelos del producto afecta la tasa de rendimiento, mediante un estudio de simulación. Considera que la principal característica de la fábrica de zapatos es que la tasa de producción diaria y los tiempos de proceso son altamente volátiles y sujetos a alta variación dependiendo del modelo y rápidos cambios de la moda. Para esto analiza 5 medidas de desempeño, la tasa de producción diaria, tiempo de flujo, los trabajos en espera, utilizations de los recursos y los reprocesos. Los resultados indican que al fabricar 4 modelos por día, la producción se incrementaría y disminuirían los costos operacionales. También debe haber nuevas políticas de producción que avalen tales cambios.

Un estudio que implementa reglas de secuenciación en modelos de simulación es Vaidyanathan et al (1998). Ellos integran un modelo de simulación de eventos discretos en una aplicación de planificación de producción para una planta de fabricación de café con cerca de 300 productos finales. El programa se utiliza para generar los horarios diarios para cuatro procesos principales: limpieza del grano verde, tostado, molido y envasado. El modelo de simulación se utiliza para evaluar el desempeño de las programaciones que minimizan el tiempo de cambio y el tiempo de espera en los procesos. Los resultados muestran que las



programaciones propuestas por el sistema integrado de simulación proporcionan las más altas tasas de utilización y rendimientos que los del sistema actual.

En cuanto a los estudios que se han llevado a cabo de forma teórica, destacan, en el contexto de éste trabajo, investigaciones de autores como Kim y Choi (2013), que resuelven a través de simulación el problema de programación en un sistema tipo flowshop, con setup dependiente de la secuenciación y que mantiene el nivel de trabajo en cola constante.

Así también Kayasaa y Herrmann (2012) proponen y analizan el concepto de simulación de sistemas de producción como una forma para desarrollar una estrategia de producción apoyada por estrategias de calidad para lograr la mayor tasa de productos correctamente ensamblados en el menor tiempo, mínimo costo y mejor rendimiento teniendo en cuenta las condiciones de producción y los presupuestos disponibles. Se concluye que el modelo de simulación es adecuado para representar el efecto de la fabricación, capacidad de medición y el número de la tolerancia sobre el rendimiento de forma dinámica.

Por otra parte, Lin et al. (2012) aplican un algoritmo para determinar el nivel óptimo de recursos en un servicio quirúrgico. Las medidas de desempeño son un criterio que las emplea para evaluar el rendimiento del sistema. Los experimentos numéricos demostraron la aplicabilidad y la efectividad del algoritmo para buscar en grandes espacios.

Pehrsson et al. (2013) presentan técnicas de modelamiento de costos específicamente diseñadas para la integración con simulación de eventos discretos y optimización multiobjetivo, concluyendo que la combinación de los datos de ingeniería de producción, datos financieros y optimización de tecnología con innovación definitivamente pueden proporcionar información muy útil y conocimiento que facilite la toma de decisiones en el desarrollo de sistemas de producción.

De igual manera Xing et al. (2009) presentan un modelo de simulación para resolver el problema de programación multiobjetivo en un taller de trabajo, validado con datos prácticos. Los resultados obtenidos del estudio computacional, muestran que el método propuesto es factible y efectivo para el problema de programación en cuestión, resultando ser un método eficaz.

Un estudio experimental de la interacción entre métodos de asignación basado en simulación y reglas de programación típicas en un sistema de producción tipo job shop, es llevado a cabo por Vinod y Sridharan (2010) con el objetivo de evaluar el impacto de diferentes métodos de asignación de fechas de vencimiento y reglas de programación sobre el desempeño en este tipo de sistemas de producción. Los resultados de la simulación son sometidos a análisis estadístico, el que reveló que existe una interacción significativa entre los métodos de asignación y las reglas de programación utilizadas para todas las medidas de desempeño.

Además, Hübln et al. (2013) realizan una simulación para evaluar reglas de despacho en un sistema de producción de múltiples etapas, a través de los tiempos de espera de producción. De la simulación se deduce que el tiempo de flujo promedio ponderado para un sistema de producción de múltiples etapas cambia según la regla de secuenciamiento aplicada, porque el establecimiento de reglas de despacho cambiará las entradas del flujo de las órdenes para las siguientes etapas.

De igual manera, a través de una simulación, Edis y Ornek (2008) estudian el problema de división de lotes en un taller de trabajo con sublotes iguales y discretos. Los resultados de la simulación muestran que la combinación de TRQD (*transportation queue disciplines*) y NES (*number of equal sublots*) es una alternativa apropiada para ciertas medidas de rendimiento.

Por otro lado, Tavakkoli-Moghaddama y Daneshmand-Mehr (2005) presentan un modelo de simulación para trabajar el problema de programación de un job shop con el objetivo de minimizar el intervalo de tiempo en el que se procesa la totalidad de los trabajos (makespan o  $C_{max}$ ). Usan la simulación para resolver el problema con función objetivo a minimizar  $C_{max}$ , concluyendo que el procedimiento de simulación es una herramienta eficaz para la solución de problemas en talleres de trabajo con la minimización del makespan, especialmente para problemas de gran escala.

Vinod (2011) estudia la interacción del método de asignación de fechas de entrega con reglas de programación para el desempeño de un sistema de taller de trabajo a través de una simulación experimental, estableciendo 4 diferentes métodos de asignación de fechas de entrega y 7 reglas de secuenciamiento recomendadas por otros autores (Holthaus,1999).

## **CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MARISCOS EN CONSERVA**

La simulación permite estudiar la evolución de un sistema a través del tiempo en un conjunto de escenarios, con la finalidad de comprender su comportamiento y plantear propuestas de alternativas de mejora.

La simulación es de utilidad en sistemas de producción de complejidad media y elevada, tanto en fase de diseño (nueva línea o nueva planta) como en fase de mejora o re-diseño. Las plantas productivas están compuestas por máquinas, bodegas (almacenes) y elementos de manejo de materiales que hacen difícil conocer y visualizar el flujo de éstos en el espacio y en el tiempo. En este contexto, la simulación es de gran ayuda, destacando su carácter visual e intuitivo, basado en la modelización de la línea de producción y su lógica de funcionamiento (control de la producción) “tal y como es”. Además, pueden realizarse simulaciones a diferentes niveles, desde el nivel más operativo a niveles superiores que contemplen diferentes plantas productivas y estrategias de producción.

En el mercado existen varios programas comerciales para la simulación de los sistemas de producción. En este trabajo se utiliza el software ProModel v7.

### **4.1 Elementos de un modelo de simulación.**

Para comprender y analizar un sistema, se definen los siguientes términos:

- Una locación es un objeto fijo y capaz de procesar.
- Una entidad es un objeto móvil en el sistema y que es procesado.
- Una actividad representa una ocupación de un recurso durante un periodo específico.
- El estado del sistema es el conjunto de variables necesarias que permiten describir a sus elementos en todo instante de tiempo.
- Un evento es la ocurrencia instantánea de un acontecimiento que puede modificar el estado del sistema.

Un ejemplo de cada término, en un sistema de fabricación sería: una máquina herramienta, un bloque de materia prima, el proceso de taladrado de la máquina herramienta, la máquina del sistema operando, desocupada o en reparación y aparición de una falla en la máquina herramienta.

La simulación de eventos discretos se refiere a la modelación de sistemas en los que las variables de estado cambian únicamente en determinados instantes de la escala de tiempo. Los modelos se analizan a través de métodos numéricos, en lugar de analíticos (en éstos se emplean procedimientos computacionales para resolver modelos matemáticos). Más apropiadamente, se observa la evolución de un sistema para no resolver un modelo de optimización.

#### **4.2 Objetivo del estudio de simulación**

El objetivo del estudio es planificar la producción diaria en una fábrica de alimentos en conservas, que maximice la producción en el menor tiempo de proceso considerando la fabricación de hasta 2 productos en un día, en particular los productos P7 y P13, en un mismo formato, según la identificación de productos presentados en el Capítulo 2.

#### **4.3 Alcances y supuestos**

El modelo de simulación comprende las etapas de corte hasta esterilización (autoclave). Lo anterior dado que el proceso de desconche **no** es una etapa cuello de botella donde se necesite hacer una planificación detallada para la asignación de recursos.

Se consideran, para efectos de la simulación, sólo 2 productos y un mismo formato de envases, principalmente porque en el período de obtención de datos fueron aquellos de mayor producción y por el requerimiento de la empresa de analizar los productos de mayor valor comercial.

La unidad de carga utilizada será la de *envase*, si bien en las primeras etapas del proceso se trabaja con unidades mayores, todo el contenido de carnes de éstas debe luego disponerse en envases.

Los supuestos del modelo desarrollado son:

- Cantidad de carne desconchada como entrada del proceso es conocida.
- No hay ingresos ni salidas de materia prima en sus distintas etapas a cámaras de frío.
- Los gramos de carne contenidos en un envase es constante por producto.
- Toda la carne de un producto se envasará en un solo formato.
- Las productividades de corte, clasificado y envasado obedecen a distribuciones de probabilidades conocidas (ajustadas).

- Las productividades de lavado, macerado y tapado, son constantes.

Se considera que la planificación de la producción del día  $n$  se realizará al finalizar la producción del día  $(n-1)$  una vez conocidos los kilos de materia prima que ingresarán a proceso de desconche (y por ende los kilos desconchados) en el primer turno del día  $n$ .

#### 4.4 Descripción del modelo

Previo a describir los elementos de la simulación, se explica la lógica de la simulación basándose en la descripción de los pasos operacionales del capítulo 2.

La Figura 4.1 muestra de forma esquemática el proceso de fabricación simulado, donde se observan los procesos a los que es sometida la materia prima desconchada para obtener el producto terminado que se comercializará. En particular, en este estudio, la materia prima desconchada ingresa a la etapa de corte en bandejas de capacidad de 25 kg cada una. En esta etapa, hay pérdida de kilos de carne por la extracción de las vísceras y ribete del marisco. Se obtiene entonces el rendimiento de Corte.

La carne cortada ingresa en las mismas bandejas a la etapa de Lavado, para ser lavada y sometida a los procesos propios de conservería acentuantes del sabor. El Lavado se realiza en bins, que tienen una capacidad de 4 bandejas cada uno, es decir 100 kg de carne cortada. En la etapa de Lavado también hay pérdida de kilos de carne (contenido estomacal), por lo que se obtiene el rendimiento de Lavado.

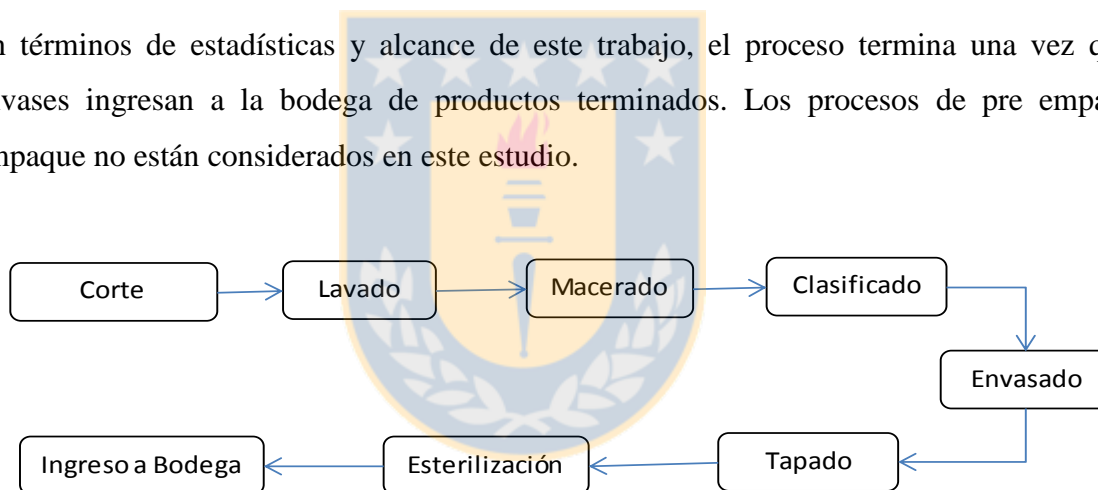
La carne lavada ingresa en bandejas a la etapa de Clasificado, donde se separa manualmente por tamaño. Dado los rechazos existen por el tamaño de la materia prima y materia prima dañada, en esta etapa se obtiene el rendimiento de Clasificado.

Cabe destacar que las bandejas que ingresan al sistema con 25 Kg de carne, a la salida de la etapa de Clasificado, contienen 25 Kg disminuidos debido a los rendimientos respectivos de las etapas anteriores. La materia prima clasificada ingresa en bandejas a la etapa de Envasado, donde la carne es envasada manualmente con restricciones de contenido de carne específicos según los pesos dosificados de cada producto. De esta etapa los envases, por medio de una cinta transportadora, son dirigidos hacia la etapa de Tapado, donde cada envase debe ser sellado de forma hermética a través de una máquina cerradora propia para cada formato de envase.

Los tarros tapados se agrupan en lotes para ingresar al autoclave. El tamaño del *batch* es una variable de decisión que maneja la empresa y que depende principalmente de los tiempos de proceso. Luego los envases son sometidos al proceso de esterilización comercial con tiempos de procesos propios para cada producto y formato de envase. Por restricciones de control de calidad, el producto envasado no puede permanecer más de tres horas desde que es sellado hasta que se inicia su proceso térmico. Los envases que no cumplen esta condición, no son aprobados por control de calidad, quedando como no conformes en espera de resultados de análisis microbiológicos emitidos por un laboratorio externo.

Luego de un periodo de enfriamiento de los envases de 12 hrs aproximadamente en la salida del autoclave, ingresan a la bodega de producto terminado donde continúan con el proceso de pre empaque y empaque.

En términos de estadísticas y alcance de este trabajo, el proceso termina una vez que los envases ingresan a la bodega de productos terminados. Los procesos de pre empaque y empaque no están considerados en este estudio.



**Figura 4.1:** Esquema general de la simulación.

#### 4.5 Medidas de desempeño

A efectos de evaluar el modelo de simulación se definen indicadores, también llamados medidas de desempeño, los que corresponden a información de salida relevante para el entendimiento del sistema en estudio y que tienen relación con el objetivo que se busca cumplir.

Para el caso en estudio, las medidas de desempeño definidas son las que a continuación se detallan:

- **Producción1:** Corresponde a la cantidad de envases del producto P7

- **Producción2:** Corresponde a la cantidad de envases del producto P13.
- **Porcentaje de utilización de las estaciones de trabajo:** Indicador que mide el tiempo que se encuentran ocupadas las diferentes estaciones respecto del tiempo de simulación. Este indicador se obtiene para estaciones donde la productividad es variable.
- **Tiempo total de Producción:** Es el tiempo transcurrido desde el ingreso de la materia prima al sistema hasta el ingreso del último envase a la Bodega.
- **Espera Promedio:** Corresponde al tiempo de espera promedio de un envase entre la salida de la tapadora y entrada al autoclave.

#### 4.6 Parámetros del modelo

Los parámetros corresponden a los datos de entrada que el modelo requiere para iniciar el proceso de la simulación. Los parámetros utilizados se pueden clasificar como Parámetros Fijos y Parámetros Variables.

##### Parámetros fijos del modelo

El modelo considera los siguientes parámetros fijos:

- **TiempoTN:** Cantidad de horas asignadas al turno de noche para la etapa de corte.
- **NOpCorteTN:** Número de operarias asignadas en el turno de noche a la etapa de corte.
- **CantidadOP1:** Kilos de materia prima desconchada del producto 1 por envase.
- **CantidadOP2:** Kilos de materia prima desconchada del producto 2 por envase.
- **pDosificado1:** Kilos de carne a envasar del producto 7
- **pDosificado2:** Kilos de carne a envasar del producto 13
- **CapBandeja:** Contenido neto de carne en una bandeja al inicio del proceso (25 Kg.).
- **CapBin:** Capacidad, en bandejas, de un bin de 100 Kg. (4 bandejas).
- **NOpCorte:** Número de operarias asignadas en el turno de día a la etapa de corte
- **NOpClasificado:** Número de operarias asignadas a la etapa de clasificado.
- **NOpEnvasado:** Número de operarias asignadas a la etapa de envasado
- **nBatch:** Cantidad de envases contenidos en un *batch* que ingresa al autoclave. El autoclave no siempre se usa en su máxima capacidad de envases, luego nBatch es una variable de decisión, dado que tiene directa relación con los tiempos de espera de los

envases desde la salida de Tapado hasta el ingreso al autoclave. El tiempo de espera no debe ser superior a 3 hrs (ver sección 4.4).

- **OverTime:** Cantidad de envases que han permanecido más de tres horas sin ser ingresados al autoclave. Se considera como tiempo de inicio, el tiempo que el envase sale de la etapa de Tapado y tiempo de término el tiempo que el envase inicio el proceso térmico.
- **pAutoClave:** Tiempo del proceso térmico, propio para cada producto.

NOpCorte, NOpClasificado, NOpEnvasado y nBatch ingresadas como parámetros del modelo son variables de decisión, por lo tanto varían según el escenario que se quiere simular, es decir, varían según la cantidad de materia prima a procesar y eficiencia que se quiera obtener de la línea de producción.

#### **Parámetros variables del modelo**

Los parámetros variables del modelo corresponden a las siguientes productividades:

- **Velocidad de Corte P1**
- **Velocidad de Corte P2**
- **Velocidad de Clasificado P1**
- **Velocidad de Clasificado P2**
- **Velocidad de Envasado P1**
- **Velocidad de Envasado P2**

Las velocidades de corte corresponden a la cantidad de kilos cortados por operaria en una hora.

De forma similar, las velocidades de clasificado se definen como la cantidad de kilos de carne clasificadas por operaria en una hora.

Finalmente, las velocidades de envasado corresponden a la cantidad de tarros envasados en una hora por cada operaria.

#### **4.7 Distribución de probabilidades**

Para determinar las distribuciones de probabilidades de los parámetros variables, se recurrió a registros de producción del año 2013, como se muestra en anexo 1. Algunos datos se



obtuvieron de forma directa, otros en cambio fue necesario hacer cálculos intermedios para obtener las productividades, en particular la velocidad de clasificado y envasado.

Para determinar el tipo de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos, se utilizó la herramienta Stat: Fit de ProModel.

La tabla 4.1 muestra las distribuciones que mejor se ajustaron para cada uno de los grupos de datos junto a sus parámetros correspondientes. En el anexo 2 se muestra el resultado del ajuste de distribución de probabilidad. Para decidir utilizar una distribución se usó el criterio de que al menos 2 de los 3 test aplicados (Chi Cuadrado, Kolmogorov-Smirnov y Anderson- Darling) no se rechacen. Sólo en el caso del ajuste para Corte P7 se rechaza el test Chi Cuadrado.

Existe un caso donde los datos no se ajustan a ninguna distribución de probabilidad existente, por lo que se usó una distribución de probabilidad empírica (Clasificado P13).

Nombre	Distribución
Corte P7	Weibull[1.0,2.54,8.73]
Corte P13	Weibull[1.0,2.84,4.71]
Clasificado P7	Weibull[22.5,3.25,29.2]
Clasificado P13	Empírica
Envasado P7	Gamma[0.01,7.01154,0.004321]
Envasado P13	Gamma[0.01,5.12,0.00412]

**Tabla 4.1:** Distribución de probabilidades.

#### 4.8 Locaciones

Las locaciones representan lugares fijos en el sistema. Donde las entidades son dirigidas para procesamiento o almacenamiento.

Para el caso en estudio, las locaciones corresponden a las estaciones de trabajo donde se ejecuta cada etapa del proceso más algunas locaciones ficticias que ayudan a la lógica de la simulación.

- **ColaOP:** Es la locación ficticia donde llegan las órdenes de producción que indican los kilos de materia prima de un determinado producto que va a ser procesado.
- **CorteOP:** Locación ficticia donde la materia prima cortada se distribuye en bandejas con capacidad de 25 kg de carne cada una.

- **ColaCorte:** Locación que permite que las bandejas se capturen una a una para su posterior procesamiento en la etapa de corte.
- **Corte:** Es la zona donde se corta la materia prima contenida en bandejas.
- **Cola\_Lavado:** Locación que permite que las bandejas se capturen una a una para su posterior procesamiento en la etapa de lavado formando bins de 4 bandejas.
- **Lavado:** Es la zona donde la materia prima es sometida al proceso de lavado
- **Cola\_Macerado:** Locación que permite que las bandejas se capturen una a una para su posterior procesamiento en la etapa de macerado
- **Macerado:** Es la zona donde la materia prima es sometida al proceso de macerado.
- **Cola\_Clasificado:** Locación que permite que las bandejas se capturen una a una para su posterior procesamiento en la etapa de clasificado.
- **Clasificado:** Es la zona donde la materia prima es sometida al proceso de clasificado manual.
- **Cola\_Envasado:** Locación que permite que los envases se capturen una a una para su posterior procesamiento en la etapa de envasado.
- **Envasado:** Es la zona donde la materia prima es sometida al proceso de envasado. Cada envase se llena con la cantidad de carne según el peso dosificado del producto en proceso.
- **Cola\_Cobertura:** Locación que permite que los envases se capturen uno a uno para su posterior procesamiento en la etapa de adición de cobertura.
- **Cobertura** Es la zona donde se aplica el líquido de cobertura a cada envase
- **Tapadora:** Es la zona donde se realiza el cierre hermético del envase con su respectiva tapa.
- **ColaAutoClave:** Locación que permite depositar los envases esperando su entrada al autoclave en la etapa de procesamiento térmico.
- **Autoclave:** Es la zona donde se realiza el procesamiento térmico de los envases, agrupados en un *batch*.
- **Bodega:** Locación que permite que los envases se desagreguen para su posterior ingreso a la bodega.
- **BodegaEnvases:** Es la zona donde se almacenan los envases provenientes de la locación Bodega.

#### 4.9 Entidades

Las entidades (con sus respectivos atributos), definidas en el modelo de simulación son las que se detallan a continuación:

- **OP:** Entidad que representa la cantidad de materia prima de un determinado producto que entra al sistema.
- **Bandeja:** Entidad que representa la unidad de entrada para el procesamiento de la materia prima.
- **Envase:** Entidad que representa el producto terminado
- **Batch:** Entidad que representa la cantidad de envases agrupados que serán sometidos a proceso térmico en el autoclave.

#### 4.10 Duración de las corridas de simulación

Corresponde al periodo de tiempo en el cual el modelo funciona y entrega información sobre el proceso.

La empresa trabaja 10 hrs. por turno, considerando una hora de colación, por lo que a efectos de la simulación, todas las corridas se realizan con 9 hrs como tiempo efectivo de trabajo y sin tiempo de warm up debido a que el estado de inicio de la simulación es representativo de lo que sucede en la práctica.

#### 4.11 Determinación del número de réplicas

Debido a la naturaleza aleatoria del sistema simulado, y para que los resultados obtenidos sean confiables, es necesario calcular el número de réplicas o corridas de la simulación. Esto se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N = \left( \frac{t_{n-1, 1-\alpha/2}}{e} * s(n) \right)^2$$

donde:

N: Número de réplicas

$s(n)$ : Estimación de  $\sigma$  basada en n réplicas (muestra piloto de tamaño n)

e: Magnitud máxima del error (tolerancia)

$t_{n-1, 1-\alpha/2}$  : Valor crítico de la distribución t student

$\alpha$ : Nivel de significancia

Si  $N \leq n$ , entonces  $N = n$

Para el cálculo del número de réplicas se utiliza un  $\alpha = 0,01$ , un error de  $e = 0,25$  hrs. en la estimación del tiempo total de proceso y una muestra piloto de  $n = 10$  réplicas.

Se obtiene  $N = 9$  con  $t_{9,0,995} = 3,25$ , y  $s(n) = 0,23$ . Como  $N < n$ , se considera el número de réplicas igual a 10.

#### **4. 12 Validación del modelo**

La validación del modelo consiste en realizar una comparación entre las estimaciones del modelo y la realidad: si lo observado en la realidad concuerda con lo propuesto. Los resultados de la simulación implican una aproximación a la misma. El grado de error se hace aceptable sólo con un criterio estadístico.

Los datos reales considerados corresponden a días productivos del año 2013, en los cuales se envasaron al menos uno de los 2 productos considerados en este estudio y donde además se cumplían los supuestos y alcances definidos en la sección 4.3. Las producciones diarias fueron comparadas con las entregadas por el modelo.

La Tabla 4.2 muestra los resultados de la validación.

En particular se analizaron los meses de Marzo, Septiembre, Octubre y Noviembre, con un total de 35 días productivos.

El día 9 de Marzo, por ejemplo, la producción fue de 1728 envases del producto P2 y la producción obtenida por simulación fue de 1679 envases, producción que se acerca en un 97,15 % a la realidad.

De forma análoga, el día 17 de Septiembre, por ejemplo, la producción fue de 4200 envases del producto P1 y la producción obtenida por simulación fue de 3950 envases, producción que se acerca en un 94,05 % a la realidad.

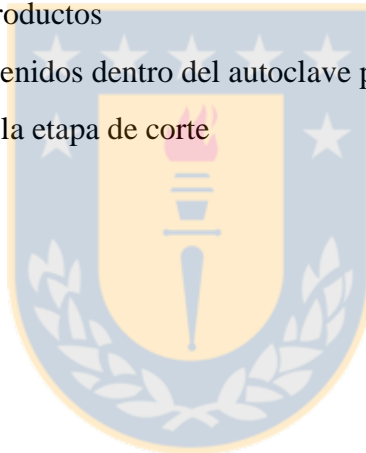
Una tercera observación, del día 26 de Octubre, indica que la producción fue de 1231 envases del producto P2 y la producción obtenida por simulación fue de 1212 envases, producción que se acerca en un 98,46 % a la realidad.

Finalmente, al analizar el día 16 de Noviembre, la producción fue de 2184 envases del producto P2 y la producción obtenida por simulación fue de 2182 envases, producción que se acerca en un 99,91 % a la realidad.

En la mayoría de los días considerados para la validación (30 sobre 35), la diferencia porcentual entre lo producido en la realidad (Envases) y la producción determinada por el modelo de simulación (Modelo) está dentro del rango +/- 5%; en 5 de los 35 días considerados la diferencia porcentual excede 5% pero se mantiene bajo 10%.

Así, es posible determinar los posibles escenarios productivos considerando restricciones como:

- Turnos involucrados en la producción
- Procesar uno o ambos productos
- Número de envases contenidos dentro del autoclave por cada proceso térmico
- Número de operarias en la etapa de corte



Marzo				
Fecha	Producto	Tarros	Simulación	%
1	P2	1785	1766,32	98,95%
2	P1	840	838,69	99,84%
4	P1	5232	4993,97	95,45%
8	P1	3240	3226,43	99,58%
9	P2	1728	1678,74	97,15%
13	P1	2136	2002,50	93,75%
15	P1	2784	2764,73	99,31%
18	P2	2208	2057,64	93,19%
25	P1	1222	1210,70	99,08%
26	P1	1109	1094,96	98,73%
28	P1	2472	2463,07	99,64%
Septiembre				
Fecha	Producto	Tarros	Simulación	%
5	P2	1330	1301,63	97,87%
6	P1	2784	2781,45	99,91%
7	P1	648	626,58	96,69%
16	P2	1104	1079,26	97,76%
17	P1	4200	3949,58	94,04%
25	P1	648	623,12	96,16%
27	P1	816	753,25	92,31%
28	P2	2112	2092,51	99,08%
30	P1	3000	2993,83	99,79%
16	P1	1992	1983,65	99,58%
Octubre				
Fecha	Producto	Tarros	Simulación	%
1	P1	2292	2287,68	99,81%
11	P2	600	609,39	101,56%
14	P2	1246	1230,27	98,74%
26	P2	1231	1211,86	98,45%
27	P1	4008	4027,05	100,48%
Noviembre				
Fecha	Producto	Producción	Simulación	%
4	P2	1416	1339,52	94,60%
5	P2	3792	3655,20	96,39%
7	P2	3504	3434,32	98,01%
15	P2	2088	2080,51	99,64%
16	P2	2184	2182,35	99,92%
21	P2	1656	1650,09	99,64%
25	P2	2856	2852,01	99,86%
26	P2	2448	2447,43	99,98%
30	P2	1512	1584,92	104,82%

**Tabla 4.2:** Validación del modelo.

## CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE ESCENARIOS

El análisis de escenarios desarrolla los resultados obtenidos de simulaciones con datos supuestos en base a las condiciones de producción de la planta. Es por esto que se definen 3 escenarios; dos consideran abastecimiento de sólo un producto, P7 y P13 respectivamente, en cantidades máximas a las recibidas en el año 2013 y procesadas sólo en el turno de día, un tercer escenario considera abastecimiento de ambos productos en cantidades promedio a las recibidas en el año 2013, con una parte de la materia prima del producto P13 procesada en el turno de noche y el resto en el turno de día. A su vez, en cada escenario se analizan dos opciones que están dadas por el número de envases por autoclave y número de operarias asignadas a la etapa de corte, clasificado y envasado.

La Tabla 5.1 muestra los parámetros definidos para cada escenario, considerando que:

- **Escenario 1a:** Sólo se procesa en el turno de día el producto P13.
- **Escenario 1b:** Sólo se procesa en el turno de día el producto P13, con menor dotación respecto el escenario 1a.
- **Escenario 2a:** Sólo se procesa en el turno de día el producto P7.
- **Escenario 2b:** Sólo se procesa en el turno de día el producto P7, con menor dotación respecto el escenario 2a.
- **Escenario 3a:** El turno de noche procesa P7, continuando el turno de día con el saldo de P7 y con P13.
- **Escenario 3b:** Sólo procesa el turno de día P7 y P13 con igual dotación respecto al escenario 3a.
- **Escenario 3c:** Ídem escenario 3b, con la excepción de un autoclave más.

	1a	1b	2a	2b	3a		3b		3c	
Producto	P13	P13	P7	P7	P7	P13	P7	P13	P7	P13
n° operarias turno de noche	0	0	0	0	5		0		0	
Hrs. de trabajo turno noche	0	0	0	0	6		0		0	
Kg de materia prima	2500	2500	3500	3500	780	1290	1000	1290	1000	1290
n° operarias en Corte	40	20	40	45	40		40		40	
n° operarias en Clasificado	24	24	24	30	24		24		24	
n° operarias en Envasado	25	15	25	25	25		25		25	
n° de autoclaves	2	2	3	4	2		2		3	

**Tabla 5.1:** Parámetros definidos para cada escenario.

A continuación se muestran los resultados promedios obtenidos por cada escenario con 10 réplicas. La duración de cada réplica está dada por el valor máximo del tiempo total de proceso que entrega una primera simulación con 9 hrs. de duración cada una. En el anexo 3 se muestran los resultados de las variables por escenario de análisis, con un intervalo de confianza del 95%.

Es de interés para la planificación de la producción observar, la cantidad de envases rechazados, ya que cualquier valor mayor o igual a 1 implica un costo de no calidad para la empresa. Además, observar el tiempo de producción, pues es un dato relevante para conocer el tiempo del que se dispone para procesar otros productos dentro del turno de trabajo. Así también, la diferencia entre la cantidad máxima de envases y envases producidos, pues esta diferencia indica la producción que no logró fabricarse en el turno de 9 hrs. Así también, analizar el porcentaje de utilización de cada estación de trabajo, identificando los cuellos de botella, para asignar los recursos necesarios que eliminen la restricción y lograr el balance de la línea de producción. Como también identificar las estaciones de trabajo donde los recursos están siendo sub utilizados en el proceso analizado con el objetivo de asignarles otros trabajos y aumentar la productividad.

No es factible considerar más de 4 procesos térmicos (autoclaves) en un día, por los costos de combustible asociados. Además, considerar 2 procesos térmicos implica altos tiempos de espera de envases, situación que aumenta las probabilidades de obtener producto rechazado por control de calidad, según se explicó en el capítulo 4.



### 5.1 Planificación de la producción con producto P13.

Por registros históricos, el abastecimiento diario máximo del año 2013 a Marzo 2014, del producto P13 corresponde a 2500 kg carne. Con este antecedente, se simulan dos situaciones variando las dotaciones actuales de trabajo y manteniendo constante el número de autoclaves.

La Tabla 5.2 muestra los resultados promedios de las 10 réplicas de la simulación para los escenarios 1a y 1b, donde el escenario 1b considera una reducción de la dotación respecto del escenario 1a. En anexo 3, tabla A3.1 y A3.2 se indica el detalle de los resultados obtenidos de la simulación. Se aprecia una baja variabilidad de las estimaciones.

Se observa, por ejemplo, que en promedio, el porcentaje de envases rechazados en el escenario 1b es 12,7 %, con un intervalo de confianza entre 12,47% y 13,04% según se detalla en anexo 3.2. Se observa que los intervalos de confianza obtenidos reflejan baja dispersión respecto de cada una de las medidas.

Medida	1a	1b
n° de envases por autoclave	2141	1995
% de envases rechazados	0	12,7%
Tiempo promedio de espera por envase (hrs.)	1,3	2,01
Cantidad máxima de envases	4285,0	3994
Envases que ingresan a bodega	4282	1995,0
Tiempo de producción (hrs.)	6,83	5,98

Estación de trabajo	% Utilización	
Corte	60,82	69,37
Lavado	12,05	13,33
Macerado	12,05	13,33
Clasificado	10,77	12,19
Envasado	62,64	91,06
Tapadora	8,65	7,55
Autoclave	13,91	15,38

**Tabla 5.2:** Medidas promedios y % de utilización para escenarios 1a y 1b.

### 5.2 Planificación de la producción con producto P7.

Por registros históricos el abastecimiento diario máximo del año 2013 a Marzo 2014, del producto P7 corresponde a 4400 kg carne. Sin embargo, un 80% aproximadamente del abastecimiento se destina a un producto no considerado en el modelo. Por lo tanto, para efectos de simulación de la producción se consideran 3500 kg del producto P7 como máximo

abastecimiento por día de recepción. Para este producto se simulan dos situaciones considerando las dotaciones actuales de trabajo y un aumento en la dotación de clasificado.

A continuación se entregan los resultados obtenidos respectivamente.

La Tabla 5.3 muestra los resultados promedios de las 10 réplicas de la simulación para los escenarios 2a y 2b, donde el escenario 2b considera un aumento de la dotación y cantidad de autoclaves respecto escenario 2a. En anexo 3, tabla A3.3 y A3.3 se indica el detalle de los resultados obtenidos de la simulación. Se aprecia una baja variabilidad de las estimaciones.

Se observa, por ejemplo, que en promedio, el tiempo (hrs.) promedio de espera por envases es 1,27 y 0,98 hrs en los escenarios 2a y 2b respectivamente, con un intervalo de confianza entre 1,26 y 1,28 hrs para el escenario 2a y 0,98 y 0,99 hrs para el escenario 2b según se detalla en anexos 3.3 y 3.4. Se observa que los intervalos de confianza obtenidos reflejan baja dispersión respecto de cada una de las medidas.

<b>Medida</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>
n° de envases por autoclave	2094	1570
% de envases rechazados	0%	0%
Tiempo promedio de espera por envase (hrs.)	1,27	0,98
Cantidad máxima de envases	6283	6283
Cantidad de envases que ingresan a bodega	4188	4710
Tiempo de producción (hrs.)	6,65	7,48

<b>Estación de trabajo</b>	<b>% Utilización</b>	
Corte	88,96	70,33
Lavado	17,39	15,58
Macerado	17,39	15,58
Clasificado	15,76	11,51
Envasado	89,33	81,08
Tapadora	12,33	11,19
Autoclave	28,68	38,96

**Tabla 5.3:** Medidas promedio y % de utilización escenarios 2a y 2b.

### **5.3 Planificación de la producción considerando abastecimiento de dos productos.**

El abastecimiento diario promedio de P7 y P13 durante el 2013 fueron 1000 y 1290 Kg respectivamente, por lo tanto para efectos de la simulación de la producción se analizan 3 situaciones; dotación disponible para etapa de corte del producto P7 en la noche, continuando en el día con la producción del producto P13. Considerando las dotaciones actuales de trabajo con los abastecimientos promedio, variando sólo las cantidades de autoclaves.

La Tabla 5.4 muestra los resultados promedios de las 10 réplicas la simulación para los escenarios 3a, 3b y 3c, donde el escenario 3b considera dotación disponible sólo para el turno de día y el escenario 3c igual a 3b pero con un autoclave adicional. En anexo 3, tabla A3.4 a A3.7 se indica el detalle de los resultados obtenidos de la simulación. Se aprecia una baja variabilidad de las estimaciones.

Se observa, por ejemplo, que en promedio, la utilización del centro de corte es 73,87% y 60,98% para los escenarios 3a, 3b y 3c, (por condición de simulación la utilización de centro de Corte en escenario 3b es igual a la utilización del centro de Corte en escenario 3c), con intervalos de confianza entre 70,72% y 77,02% para escenario 3a y 59,24% a 62,72% para escenario 3b y 3c respectivamente, según se detalla en anexos 3.5, 3.6 y 3.7. Se observa que los intervalos de confianza obtenidos reflejan baja dispersión respecto de cada una de las medidas.

<b>Medida</b>	<b>3a</b>	<b>3b</b>	<b>3c</b>
Cantidad de envases rechazados	0	1,50%	0
Tiempo promedio de espera por envase (hrs.)	1,32	1,33	0,88
Cantidad máxima de envases	4059	4082	4082
Tarros envasados del producto P7	1937	1745	1745
Tarros envasados del producto P13	905	2315	2314
Tiempo de producción (hrs.)	4,86	7,10	7,10

<b>Estación de trabajo</b>	<b>% Utilización</b>		
Corte	73,87	60,98	60,98
Lavado	13,61	9,65	9,65
Macerado	13,61	9,65	9,65
Clasificado	46,66	27,64	27,64
Envasado	92,06	65,59	65,59
Tapadora	12,53	8,95	8,95
Autoclave	20,41	26,32	39,47

**Tabla 5.4:** Medidas promedios y utilización para escenarios 3a, 3b y 3c.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha desarrollado una herramienta basada en simulación que apoya la toma de decisiones en la gestión de producción de corto plazo, en particular para la producción del día siguiente.

El mayor volumen de abastecimiento corresponde a materia prima en concha y la cantidad que ingresará al proceso es conocida con un día de anticipación respecto del inicio del proceso productivo. Debido a lo anterior, una planificación de corto plazo que optimice los recursos es necesaria para cumplir con la meta de productividad propuesta por la empresa. Por lo tanto, disponer de una herramienta que apoye en forma eficiente el proceso de planificación de la producción, como la desarrollada en esta tesis se hace indispensable.

Para desarrollar esta herramienta se construyó un modelo del sistema productivo con sus respectivos parámetros de proceso, incluyendo el ajuste de distribuciones de probabilidades para las productividades de Corte, Clasificado y Envasado. El modelo fue implementado en el software de simulación ProModel (versión 8). La validación se realizó a través de la comparación de producción entregada por el modelo y producciones reales, obteniéndose resultados satisfactorios considerando que en el 85% de los casos las diferencias no superaron el 5% y en el 15% restante las diferencias no superaron el 10%.

Por lo tanto, los resultados obtenidos del estudio computacional, muestran que el método propuesto es factible y efectivo para el problema de planificación en cuestión.

El objetivo de corto plazo del modelo de simulación fue usarlo para asignar la dotación a los distintos centros de trabajo, determinar la cantidad de procesos de autoclave necesarios y estimar la cantidad de envases producidos en un turno, evaluando la fracción de éstos que cumplen con las normativas internas del departamento de control de calidad, según la cantidad de materia prima destinada a proceso.

Los 3 escenarios analizados muestran situaciones reales, donde se debe tomar la decisión respecto qué condición satisface de mejor manera los requerimientos de producción y fechas de entrega.

En el caso que sólo se dispone del producto P13, la situación más favorable es aquella donde se dispone de la dotación promedio realizando 2 autoclaves, donde no se obtienen envases rechazados por control de calidad, y toda la materia prima es envasada, no así en el escenario 1b donde, además de existir menos envases producidos, el 12,7% de la producción está rechazada por tiempo de permanencia mayor a 3 hrs. entre el término del sellado hasta el ingreso al autoclave.

De forma similar, en la situación en que sólo se dispone del producto P7, no toda la materia prima logra ser envasada (sólo el 66,65% para el escenario 2a y 74,96% para el escenario 2b) y esterilizada dentro del turno, lo que da luces de programar horas de sobretiempo o aumentar la dotación en las locaciones identificadas como cuello de botella. Esto en caso que sea de importancia disponer la totalidad de la carne envasada, por compromisos de ventas, por ejemplo. Además, es importante observar el aumento en el tiempo total de producción dada una operación de autoclave adicional en el escenario 2b con un aumento de tan sólo un 12% de la producción respecto al escenario 2a, sumado también al aumento de los costos operacionales para una operación adicional de autoclave.

Por último, frente a una necesidad de envasar dos productos, la mayor producción se obtiene procesando sólo en el turno de día. Sin embargo, es importante comentar respecto al beneficio, en este caso de aumentar las operaciones de autoclaves, pues en el escenario 3b, existe un 1,48% de envases rechazados por tener un tiempo de permanencia mayor a 3 hrs. entre el término del sellado hasta el ingreso al autoclave. Situación que se elimina en el escenario 3c, manteniéndose el tiempo total de producción.

En este escenario fue posible determinar la capacidad de producción para un mix de productos de mayor demanda.

En condiciones normales, la planta procesa más de un producto y en distintos formatos, por lo tanto es importante saber qué información rescatar de los reportes de cada corrida del programa de simulación, como por ejemplo el tiempo total de proceso, cantidad de envases producidos y cantidad de envases rechazados, a efecto de tomar la mejor decisión respecto de qué otro producto se procesará en el día y la cantidad de materia prima que se destinará para lograr la productividad de la planta, establecida como cantidad de cajas /día.

Esta herramienta para la toma de decisiones es nueva en la planta, por lo tanto, son sus primeros pasos en el uso de la simulación para tomar decisiones respecto de situaciones futuras relativas a la planificación de la producción. Por este motivo, se recomienda para investigaciones futuras, extender este trabajo, incluyendo en el modelo los productos y formatos no considerados, de tal manera que la herramienta permita mayor flexibilidad en la confección del plan de producción diario.

Se sugiere también considerar en el modelo los costos involucrados a fin de estimar el costo de la producción, costos de calidad y de no calidad.

Esta herramienta de simulación es útil para definir la asignación de recursos como también entregar lineamientos respecto al uso de la capacidad de autoclaves a fin de no obtener producto rechazado por control de calidad.

Con lo anteriormente expuesto, es factible hacer un recálculo y obtener la cantidad de materia prima necesaria para trabajar con la dotación disponible dentro de la jornada de trabajo y obtener producción sin rechazos.

Cabe mencionar también que a través de los resultados de la simulación es posible identificar los cuellos de botella de la línea de producción, por lo tanto, se sabe dónde levantar las restricciones a fin de mejorar la productividad de la empresa.

Es importante destacar que quien use la herramienta de simulación, debe ser capaz de llevar a cabo la reprogramación en tiempo real, en orden a enfrentarse de manera efectiva con las incertezas del sistema. Una programación en tiempo real, es por lo tanto, necesaria para apoyar el trabajo no sólo del responsable de la planificación, sino que también a los supervisores en la planta para regenerar re programaciones factibles cuando sean requeridas.

## REFERENCIAS

- Abarca, A. (2006). El problema de la programación de las órdenes de producción. Escuela de Ingeniería Industrial y de Sistemas, artículo electrónico, 1-11. <http://www.besana111.com/alfredo/articulos/scheduling.pdf>
- Albornoz, V., Contesse, L. (1999) Modelos de optimización robusta para un problema de planificación agregada de la producción bajo incertidumbre en las demandas. *Investigación Operativa*, Vol. 7 (3): 1-15.
- Aqlan, F., Lam, S. (2013). An integrated simulation–optimization study for consolidating. *Int. J. Production Economics*, vol n° 148, 51-61.
- Banks, J. et al (1996). *Discrete - event system simulation*. Prentice Hall, 3° Edición.
- Coss Bu, R. (2003). *Simulación, un enfoque práctico*. Editorial LIMUSA
- Caggiano, A., Teti, R. (2013). Modelling, analysis and improvement of mass and small batch. *8th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*. Elsevier, 426-431
- Chan, F., Chan, H. (2002). A comprehensive survey and future trend of simulation study on FMS scheduling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol n° 15, 87-102.
- Chase, R., Aquilano, N. (2005) *Administración de producción y operaciones - Manufactura y servicios*. Irwin/McGraw-Hill, 8ª Ed.
- Chiang, W., Russell, R. (2009). A simulation/metaheuristic approach to newspaper production. *Int. J. Production Economics*, vol n° 121, 752-767.
- Churchman W. (1963). An analysis of the concept of simulation. In A.C. Hoggatt and F.E. Balderston (eds.), *Symposium on Simulation Models: Methodology and Applications to the Behavioral Sciences*, South-Western Publishing Co., Cincinnati, Ohio.
- Diaz-Elsayed, N., Jondral, A. (2013). Assessment of lean and green strategies by simulation of manufacturing systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol n° 62, 475-478. Elsevier.

- Dileepan, P., Amadi, M. (2010). Scheduling rules for a small dynamic job shop, a simulation approach. *Int. Journal Model*, vol n° 9, 173-183.
- Domínguez-Machuca, J., Álvarez, Ma. J., Dirección de Operaciones - Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Mc Graw Hill, 1995
- Edis, R., Ornek, A. (2008). Simulation analysis of lot streaming in job shops with transportation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol n° 17, 442-453.
- Frantzen, M., Moore, P. (2011). A simulation-based scheduling system for real-time optimization and decision making support. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol n° 27, 696-705.
- Gansterer, M., Almender C. (2013). Simulation-based optimization methods for setting production. *Int. J. Production Economics*, vol n° 59, 1-8.
- Hübln, A., Jodlbauer, H., Altendorfer, K. (2013). Influence of dispatching rules on average production lead time for multi-stage production systems. *Int. J. Production Economics*, vol n° 144, 479-484.
- Jahangirian, M., Eldabi, T. (2009). Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, Vol 203, 1-13
- Juhani, H. (1999). Use of simulation in manufacturing and logistics systems planning. *VTT Manufacturing Technology*, AS 116.140
- Kayasaa, M., Herrmann, C. (2012). A Simulation-based Evaluation of Selective and Adaptive Production. *45<sup>th</sup> CIRP Conference on manufacturing system 2012* SciVerse Science Direct, vol n°3, 14-19.
- Kim, T., Choi, B. (2013). Production system-based simulation for backward on-line job. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol n° 40, 12-27.
- Lin, R., Y.Sir, (2012). Multi-objective simulation optimization using data envelopment analysis and genetic algorithm: Specific application to determining optimal resource levels in surgical services. *Omega*, vol n° 41, 881-892.
- Naylor, T.; Balinfi Técnicas de simulación en computadoras. Editoria Limusa, 1997



- Parthanadee, P., Buddhakulsomsirib, J. (2009). Simulation modeling and analysis for production scheduling using real-time dispatching rules, a case study in canned fruit industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol n° 70, 245-255.
- Pehrsson, L., Stockton, D. (2013). Industrial cost modelling and multi-objective optimisation for decision. *Computers & Industrial Engineering*, vol n° 66, 1036-1048.
- Peter van Dam, G. (1993). Scheduling of packaging lines in the process industry. An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, vol n° 30, 579-589.
- Sánchez, J. Introducción a la Simulación. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Transporte.  
[http://www.material\\_simulacion.ucv.cl/en%20PDF/Introducci%F3n%20a%20la%20simulacion.pdf](http://www.material_simulacion.ucv.cl/en%20PDF/Introducci%F3n%20a%20la%20simulacion.pdf)
- Selman, M., Osman A. (2012). Analysis of Shoe Manufacturing Factory by Simulation of production processes. *Southeast Europe Journal of Soft Computing* , vol n° 1, 120-127.
- Shannon, R., Simulación de Sistemas, Ed. Trillas, México, 1997
- Soman, C., Donk, D. (2007). Capacitated planning and scheduling for combined make to order and make to stock production in the food industry: An illustrative case study. *International Journal of Production Economics* , vol n° 108, 191–199.
- Sury, H. (1980). Production analysis by simulation in a shoe manufacturing. *International Journal of Production Research*, vol n° 18, 31-41.
- Tavakkoli-Moghaddama, R., Daneshmand-Mehr, M. (2005). A computer simulation model for job shop scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, vol n° 48, 811-823.
- Urenda, M., Bernedixen, J., Goienetxea, A. (2012). Diseño y análisis de sistemas productivos utilizando la optimización mediante simulación basada en internet. *Revista Ingeniería Industrial*, año 11 n° 1, 37-49.
- Vorst, G., Tromp, S. (2009). Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. *International Journal of Production Research*, vol n° 47, 6611-6631.

- Vinod, V., Sridharan, R. (2010). Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system. *Int. J. Production Economics*, vol n° 129, 127-146.
- Viveros, R., Salazar, E. (2010). Modelo de Planificación de Producción para un Sistema Multiproducto con Múltiples líneas de Producción. *Revista Ingeniería de Sistemas*, vol n° 24.
- Xing, L.-N., Chen, Y.-W., Yang, K.-W. (2008). Multi-objective flexible job shop schedule: design and evaluation by simulation modeling. *Applied Soft Computing*, , vol n° 9, 362-376.



# ANEXOS

## Anexo 1: Productividades, (kg/hh)

### A1.1 Productividad corte producto P13

1	1,13333333	49	3,60902256	97	4,29184549	145	4,85714286	193	5,68965517	241	6,38554217	289	7,48000000
2	1,62500000	50	3,66666667	98	4,30379747	146	4,90000000	194	5,71428571	242	6,40000000	290	7,57575758
3	1,80000000	51	3,66666667	99	4,31034483	147	4,90000000	195	5,71875000	243	6,45714286	291	7,59862779
4	1,84000000	52	3,66666667	100	4,33333333	148	4,90000000	196	5,72289157	244	6,46666667	292	7,62857143
5	2,15000000	53	3,67142857	101	4,33333333	149	4,93333333	197	5,73333333	245	6,49230769	293	7,70000000
6	2,24000000	54	3,69098712	102	4,33333333	150	4,93975904	198	5,73333333	246	6,50974026	294	7,74774775
7	2,34375000	55	3,69230769	103	4,35000000	151	4,94285714	199	5,74000000	247	6,51651652	295	7,77500000
8	2,40000000	56	3,71111111	104	4,35000000	152	4,97500000	200	5,79234973	248	6,51651652	296	7,78666667
9	2,40000000	57	3,71428571	105	4,35384615	153	4,98694517	201	5,80000000	249	6,53333333	297	7,83783784
10	2,56000000	58	3,72500000	106	4,39655172	154	5,00000000	202	5,81986143	250	6,53508772	298	7,88709677
11	2,73333333	59	3,73333333	107	4,39655172	155	5,02145923	203	5,82857143	251	6,57894737	299	7,92207792
12	2,73333333	60	3,77142857	108	4,40000000	156	5,05714286	204	5,83636364	252	6,60000000	300	7,96923077
13	2,80000000	61	3,79518072	109	4,42622951	157	5,08000000	205	5,84000000	253	6,63333333	301	8,00000000
14	2,80000000	62	3,80000000	110	4,45000000	158	5,13333333	206	5,85585586	254	6,66666667	302	8,03333333
15	2,80000000	63	3,80000000	111	4,45714286	159	5,16483516	207	5,85714286	255	6,66666667	303	8,18181818
16	2,80000000	64	3,85000000	112	4,46666667	160	5,17777778	208	5,86206897	256	6,68674699	304	8,20000000
17	2,80000000	65	3,86666667	113	4,46666667	161	5,18000000	209	5,86206897	257	6,73333333	305	8,58858859
18	2,86666667	66	3,89230769	114	4,48571429	162	5,20000000	210	5,90163934	258	6,73333333	306	8,62190813
19	2,89752650	67	3,90000000	115	4,50643777	163	5,21904762	211	5,93333333	259	6,74698795	307	8,74285714
20	2,93333333	68	3,92500000	116	4,51127820	164	5,22522523	212	5,93639576	260	6,77777778	308	8,88888889
21	2,98666667	69	3,94849785	117	4,53333333	165	5,22522523	213	5,94000000	261	6,80000000	309	8,93410853
22	3,01724138	70	3,95000000	118	4,53333333	166	5,25862069	214	5,94666667	262	6,80000000	310	9,04444444
23	3,10344828	71	3,95555556	119	4,53333333	167	5,28571429	215	5,96000000	263	6,81034483	311	9,47500000
24	3,13333333	72	3,98461538	120	4,53333333	168	5,28571429	216	6,00000000	264	6,86666667	312	11,49253731
25	3,17500000	73	4,00000000	121	4,53703704	169	5,31590414	217	6,02409639	265	6,88000000		
26	3,20000000	74	4,00000000	122	4,57831325	170	5,34090909	218	6,06557377	266	6,93333333		
27	3,22404372	75	4,00000000	123	4,59770115	171	5,34482759	219	6,06666667	267	6,94285714		
28	3,22500000	76	4,00000000	124	4,60000000	172	5,35000000	220	6,07619048	268	6,94666667		
29	3,22916667	77	4,01333333	125	4,60000000	173	5,35519126	221	6,10000000	269	6,95443645		
30	3,25301205	78	4,02500000	126	4,61764706	174	5,35714286	222	6,10000000	270	6,97151424		
31	3,26666667	79	4,05714286	127	4,61818182	175	5,40000000	223	6,13333333	271	6,97916667		
32	3,27500000	80	4,07142857	128	4,62000000	176	5,40000000	224	6,13333333	272	6,98795181		
33	3,30985915	81	4,09638554	129	4,62000000	177	5,40540541	225	6,16923077	273	6,99675325		
34	3,32857143	82	4,09836066	130	4,62857143	178	5,41538462	226	6,19791667	274	7,06666667		
35	3,33333333	83	4,13333333	131	4,65000000	179	5,43103448	227	6,20000000	275	7,06666667		
36	3,37142857	84	4,13793103	132	4,66666667	180	5,45000000	228	6,20000000	276	7,16363636		
37	3,40000000	85	4,20000000	133	4,66666667	181	5,45714286	229	6,20689655	277	7,16923077		
38	3,40000000	86	4,20000000	134	4,66666667	182	5,46666667	230	6,21818182	278	7,17836257		
39	3,42500000	87	4,20600858	135	4,68750000	183	5,48333333	231	6,23688156	279	7,20000000		
40	3,44285714	88	4,20765027	136	4,71666667	184	5,48888889	232	6,29090909	280	7,20000000		
41	3,45714286	89	4,21052632	137	4,72000000	185	5,50324675	233	6,29310345	281	7,20000000		
42	3,46289753	90	4,21333333	138	4,74137931	186	5,51724138	234	6,30165289	282	7,26618705		
43	3,46666667	91	4,22857143	139	4,76394850	187	5,53333333	235	6,31336406	283	7,33333333		
44	3,46666667	92	4,25000000	140	4,80000000	188	5,59880240	236	6,33333333	284	7,34285714		
45	3,47142857	93	4,25454545	141	4,81203008	189	5,60000000	237	6,33633634	285	7,40000000		
46	3,47500000	94	4,26666667	142	4,84285714	190	5,60000000	238	6,34000000	286	7,40000000		
47	3,58208955	95	4,26666667	143	4,84848485	191	5,67708333	239	6,34285714	287	7,40000000		
48	3,60000000	96	4,28571429	144	4,85000000	192	5,68181818	240	6,35944700	288	7,40000000		



## A1.3 Productividades de Clasificado

### A1.3.1 Producto P13

1	6,96923077	16	7,78181818	31	8,46000000	46	10,44303798
2	7,32203390	17	7,84403670	32	8,57360406	47	10,62580645
3	7,36842105	18	7,84403670	33	8,69072165	48	10,81578947
4	7,37606838	19	7,90740741	34	8,81151833	49	11,01342282
5	7,40343348	20	7,93953488	35	8,93617021	50	11,21917808
6	7,43103448	21	7,97196262	36	9,06486487	51	11,26027397
7	7,48695652	22	8,00000000	37	9,19780220	52	11,29209622
8	7,48695652	23	8,02660333	38	9,33519553	53	11,32413793
9	7,54385965	24	8,03773585	39	9,47727273	54	11,35640138
10	7,57268723	25	8,03773585	40	9,62427746	55	11,38888889
11	7,60176991	26	8,10476191	41	9,77647059	56	11,41783029
12	7,66071429	27	8,13875598	42	9,93413174	57	11,42160279
13	7,66071429	28	8,24271845	43	10,00611247	58	11,43356643
14	7,72072072	29	8,25242718	44	10,09756098	59	11,45454546
15	7,75113122	30	8,34975370	45	10,26708075	60	11,48771930
						61	11,52112676

### A1.3.2 Producto P7

1	25,42111111	14	44,32545455	27	50,07483871	40	53,11448276
2	25,58777778	15	45,03771429	28	50,08197531	41	54,18057143
3	27,17111111	16	45,21674419	29	50,37684211	42	54,79714286
4	38,53142857	17	46,15047619	30	50,45800000	43	55,59764706
5	38,53333333	18	46,18588235	31	50,84354430	44	57,10060606
6	39,32487805	19	47,12975610	32	51,14400000	45	58,69750000
7	40,15800000	20	47,40363636	33	51,23897436	46	60,39741935
8	41,03384615	21	48,15800000	34	51,54400000	47	61,21066667
9	41,46181818	22	48,69750000	35	51,57621622	48	61,61066667
10	41,95578947	23	49,00761905	36	51,64467532	49	62,21066667
11	42,28651163	24	49,23897436	37	52,06105263	50	64,14896552
12	42,92756757	25	49,35710843	38	52,48853333	51	65,41066667
13	43,95333333	26	49,71512195	39	52,84222222	52	66,22571429

## A1.4 Productividades de Envasado

### A1.4.1 Producto P7

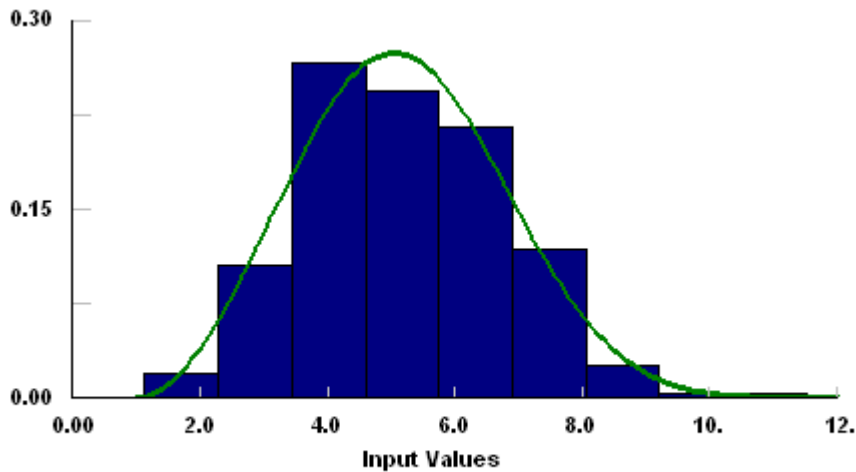
1	0,0043197	6	0,0128205	11	0,0250896	16	0,0308507
2	0,0075921	7	0,0142045	12	0,0256536	17	0,0337173
3	0,0077949	8	0,0172414	13	0,0258994	18	0,0356198
4	0,0082759	9	0,0205292	14	0,0268017	19	0,042267
5	0,0085924	10	0,0211395	15	0,0268456		

### A1.4.2 Producto P13

1	0,0111559	6	0,0283812	11	0,0364249	16	0,0495334
2	0,0227226	7	0,0310256	12	0,0374766	17	0,0512737
3	0,0254286	8	0,0321750	13	0,0378205	18	0,0514499
4	0,0258753	9	0,0336112	14	0,0392459	19	0,0556897
5	0,0258865	10	0,0336294	15	0,0462250	20	0,0612245

## Anexo 2: Distribuciones de probabilidades ajustadas

### A2.1 Ajuste Corte Producto P13



■ Input ■ Weibull

#### Weibull

minimum =  
alpha =  
beta =

1. [fixed]  
2.84409  
4.70611

#### Chi Squared

total classes	9
interval type	equal length
net bins	7
chi**2	4.82
degrees of freedom	6
alpha	5.e-002
chi**2(6,5.e-002)	12.6
p-value	0.567
result	DO NOT REJECT

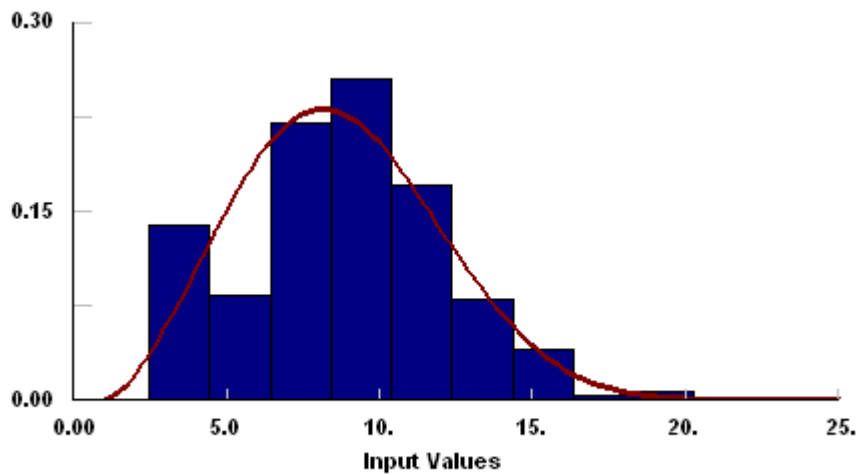
#### Kolmogorov-Smirnov

data points	312
ks stat	4.11e-002
alpha	5.e-002
ks stat(312,5.e-002)	7.63e-002
p-value	0.65
result	DO NOT REJECT

#### Anderson-Darling

data points	312
ad stat	0.407
alpha	5.e-002
ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.842
result	DO NOT REJECT

## A2.2 Ajuste Corte Producto P7



■ Input ■ Weibull

### Weibull

minimum = 1. [fixed]  
 alpha = 2.53551  
 beta = 8.73367

### Chi Squared

total classes	9
interval type	equal length
net bins	8
chi**2	26.
degrees of freedom	7
alpha	5.e-002
chi**2(7,5.e-002)	14.1
p-value	4.96e-004
result	REJECT

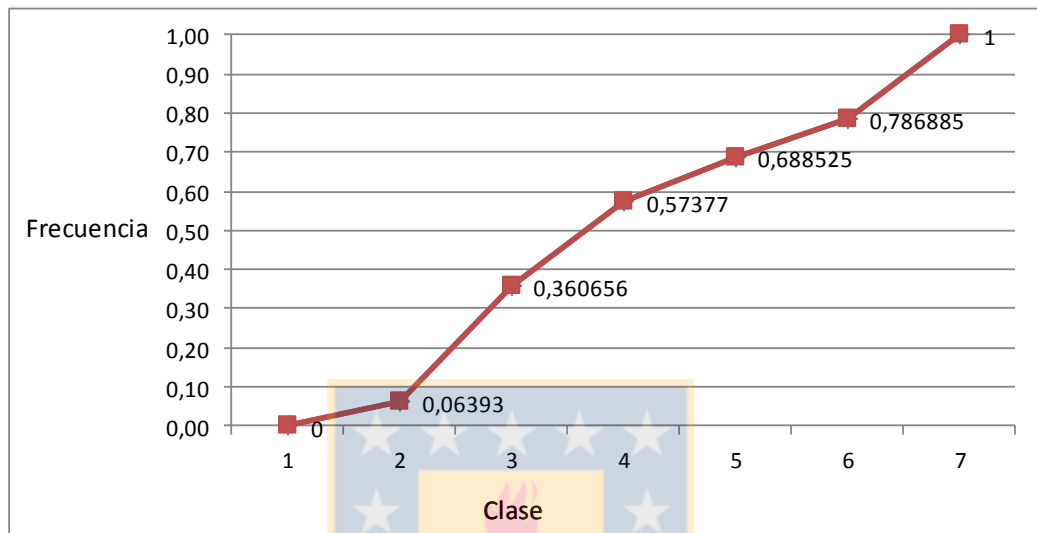
### Kolmogorov-Smirnov

data points	322
ks stat	6.98e-002
alpha	5.e-002
ks stat(322,5.e-002)	7.52e-002
p-value	8.29e-002
result	DO NOT REJECT

### Anderson-Darling

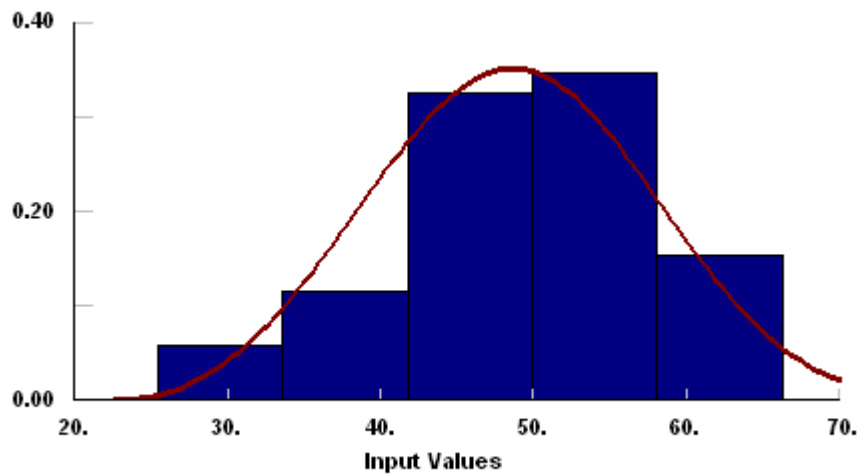
data points	322
ad stat	2.2
alpha	5.e-002
ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	7.15e-002
result	DO NOT REJECT

### A2.3 Ajuste Clasificado Producto P13 – Distribución Empírica





## A2.4 Ajuste Clasificado producto P7



■ Input ■ Weibull

### Weibull

minimum = 22.5 [fixed]  
 alpha = 3.2482  
 beta = 29.2379

### Chi Squared

total classes	5
interval type	equal length
net bins	4
chi**2	1.15
degrees of freedom	3
alpha	5.e-002
chi**2(3,5.e-002)	7.81
p-value	0.765
result	DO NOT REJECT

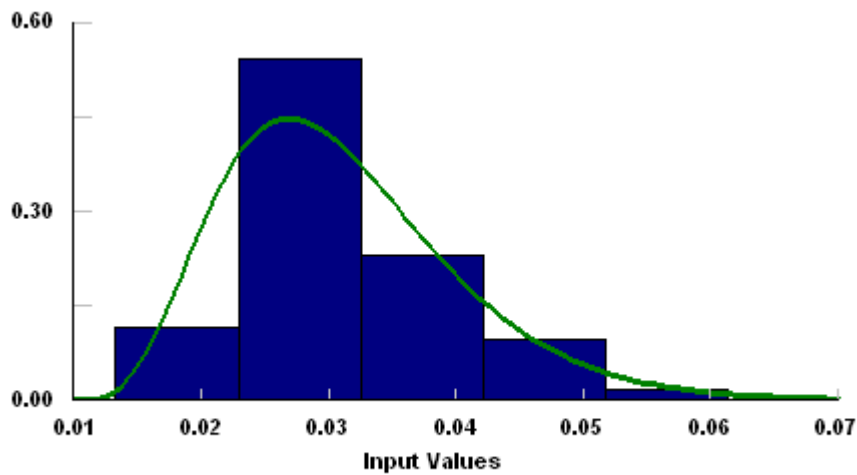
### Kolmogorov-Smirnov

data points	52
ks stat	9.96e-002
alpha	5.e-002
ks stat(52,5.e-002)	0.185
p-value	0.644
result	DO NOT REJECT

### Anderson-Darling

data points	52
ad stat	1.09
alpha	5.e-002
ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.315
result	DO NOT REJECT

## A2.5 Ajuste Envasado producto P13



■ Input ■ Gamma

### Gamma

minimum = 1.e-002 [fixed]  
 alpha = 5.11921  
 beta = 4.12088e-003

### Chi Squared

total classes	5
interval type	equal length
net bins	4
chi**2	4.03
degrees of freedom	3
alpha	5.e-002
chi**2(3,5.e-002)	7.81
p-value	0.258
result	DO NOT REJECT

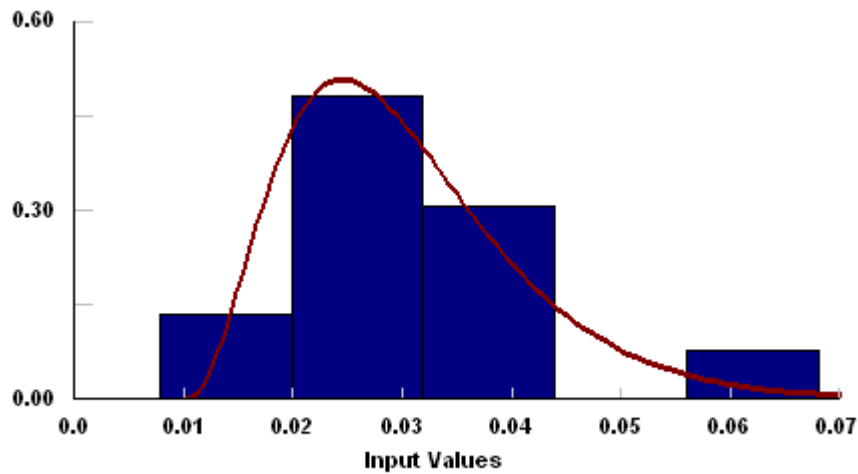
### Kolmogorov-Smirnov

data points	61
ks stat	0.121
alpha	5.e-002
ks stat(61,5.e-002)	0.171
p-value	0.305
result	DO NOT REJECT

### Anderson-Darling

data points	61
ad stat	0.896
alpha	5.e-002
ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.417
result	DO NOT REJECT

## A2.6 Ajuste Envasado producto P7



■ Input ■ Gamma

### Gamma

minimum = 0. [fixed]  
 alpha = 7.01174  
 beta = 4.32187e-003

### Chi Squared

total classes	5
interval type	equal length
net bins	4
chi**2	2.01
degrees of freedom	3
alpha	5.e-002
chi**2(3,5.e-002)	7.81
p-value	0.57
result	DO NOT REJECT

### Kolmogorov-Smirnov

data points	52
ks stat	0.124
alpha	5.e-002
ks stat(52,5.e-002)	0.185
p-value	0.37
result	DO NOT REJECT

### Anderson-Darling

data points	52
ad stat	1.02
alpha	5.e-002
ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.346
result	DO NOT REJECT

**Anexo 3: Resultados de las variables por escenario de análisis, con un intervalo de confianza de 95%.**

**A3.1 Escenario 1a**

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	54,86	64,03	60,82	2,81	59,08	62,57
Lavado	12,05	12,05	12,05	0,00	12,05	12,05
Macerado	12,05	12,05	12,05	0,00	12,05	12,05
Clasificado	10,48	11,07	10,77	0,21	10,64	10,90
Envasado	62,20	63,15	62,64	0,26	62,48	62,80
Tapadora	8,65	8,65	8,65	0,00	8,65	8,65
Autoclave	13,91	13,91	13,91	0,00	13,91	13,91

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Tiempo promedio de espera por envase (hrs.)	1,28	1,31	1,29	0,01	1,29	1,30
Envases que ingresan a bodega	4082	4082	4082	0	4082	4082
Tiempo de producción (hrs.)	6,67	7,19	6,83	0,14	6,74	6,92

**A3.2 Escenario 1b**

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	61,51	77,17	69,37	5,59	65,91	72,84
Lavado	13,33	13,33	13,33	0,00	13,33	13,33
Macerado	13,33	13,33	13,33	0,00	13,33	13,33
Clasificado	11,60	13,09	12,19	0,50	11,88	12,50
Envasado	88,08	92,73	91,06	1,32	90,25	91,88
Tapadora	7,33	7,72	7,55	0,11	7,48	7,62
Autoclave	15,38	15,38	15,38	0,00	15,38	15,38

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Cantidad de envases rechazados	487	559	509,9	19,01	498,12	521,68
Tiempo promedio de espera por envase (hrs.)	1,98	2,08	2,01	0,03	2,00	2,03
Envases que ingresan a bodega	1995	1995	1995	0	1995	1995
Tiempo de producción (hrs.)	5,73	6,48	5,98	0,27	5,81	6,14

### A3.3 Escenario 2a

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	85,38	94,85	88,96	2,87	87,18	90,74
Lavado	17,39	17,39	17,39	0,00	17,39	17,39
Macerado	17,39	17,39	17,39	0,00	17,39	17,39
Clasificado	15,22	16,31	15,76	0,36	15,54	15,98
Envasado	85,90	90,62	89,33	1,51	88,39	90,26
Tapadora	11,78	12,49	12,33	0,23	12,19	12,47
Autoclave	26,41	28,99	28,68	0,81	28,18	29,18

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Cantidad de envases rechazados	0	0	0	0	0	0
Tiempo promedio de espera por env	1,25	1,31	1,27	0,02	1,26	1,28
Tarros envasados del producto P13	4188	4188	4188	0	4188	4188
Tiempo de producción	6,56	6,81	6,65	0,07	6,60	6,69



### A3.4 Escenario 2b

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	64,47	80,02	70,33	5,37	67,00	73,65
Lavado	15,58	15,58	15,58	0,00	15,58	15,58
Macerado	15,58	15,58	15,58	0,00	15,58	15,58
Clasificado	11,05	11,99	11,51	0,32	11,31	11,70
Envasado	80,24	81,71	81,08	0,42	80,82	81,33
Tapadora	11,19	11,19	11,19	0,00	11,19	11,19
Autoclave	38,96	38,96	38,96	0,00	38,96	38,96

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Cantidad de envases rechazados	0	0	0	0	0	0
Tiempo promedio de espera por envase	0,98	0,99	0,99	0,00	0,98	0,99
Tarros envasados del producto P13	4710	4710	4710	0	4710	4710
Tiempo de producción	7,41	7,68	7,48	0,08	7,43	7,53

### A3.5 Escenario 3a

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	67,65	81,62	73,87	5,09	70,72	77,02
Lavado	12,24	14,97	13,61	0,64	13,21	14,00
Macerado	12,24	14,97	13,61	0,64	13,21	14,00
Clasificado	37,69	52,67	46,66	4,17	44,08	49,25
Envasado	81,84	94,97	92,06	3,76	89,73	94,39
Tapadora	11,16	12,94	12,53	0,50	12,22	12,84
Autoclave	20,41	20,41	20,41	0,00	20,41	20,41

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Cantidad de envases rechazados	0	0	0	0	0	0
Tiempo promedio de espera por envase	1,25	1,43	1,32	0,07	1,28	1,36
Tarros envasados del producto P7	1937,00	1937,00	1937,00	0,00	1937,00	1937,00
Tarros envasados del producto P13	905,00	905,00	905,00	0,00	905,00	905,00
Tiempo de producción	3,73	6,57	4,86	1,31	4,05	5,68

### A3.6 Escenario 3b

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	57,80	66,09	60,98	2,81	59,24	62,72
Lavado	9,65	9,65	9,65	0,00	9,65	9,65
Macerado	9,65	9,65	9,65	0,00	9,65	9,65
Clasificado	26,04	28,92	27,64	0,96	27,04	28,23
Envasado	65,08	66,39	65,59	0,38	65,35	65,82
Tapadora	8,95	8,95	8,95	0,00	8,95	8,95
Autoclave	26,32	26,32	26,32	0,00	26,32	26,32

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Cantidad de envases rechazados	0	314	59,8	108,40	0,00	126,99
Tiempo promedio de espera por envase	1,25	1,42	1,33	0,06	1,10	1,37
Tarros envasados del producto P7	1745,00	1745,00	1745,00	0,00	21,00	1745,00
Tarros envasados del producto P13	2315,00	2315,00	2315,00	0,00	32,00	2315,00
Tiempo de producción	6,87	7,57	7,10	0,24	6,90	7,26

### A3.7 Escenario 3c

Utilización	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Corte	57,80	66,09	60,98	2,81	59,24	62,72
Lavado	9,65	9,65	9,65	0,00	9,65	9,65
Macerado	9,65	9,65	9,65	0,00	9,65	9,65
Clasificado	26,04	28,92	27,64	0,96	27,04	28,23
Envasado	65,08	66,39	65,59	0,38	65,35	65,82
Tapadora	8,95	8,95	8,95	0,00	8,95	8,95
Autoclave	39,47	39,47	39,47	0,00	39,47	39,47

Variable	Min	Max	Prom.	Desviación Estándar	I. de C. 95% Límite Inferior	I. de C. 95% Límite Superior
Cantidad de envases rechazados	0	0	0	0	0	0
Tiempo promedio de espera por envase	0,82	0,94	0,88	0,85	0,83	0,90
Tarros envasados del producto P7	1745	1745	1745	0	1745	1745
Tarros envasados del producto P13	2314	2314	2314	0	2314	2314
Tiempo de producción	6,87	7,57	7,10	0,24	6,98	7,28

