



**Proyecto Final de
Ingeniería Industrial**

**MODELIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL
PROCESO PRODUCTIVO DE UNA PYME**

Autor: Agustín Luis Ludevid

Tutor: M. Ing. Claudio Rancan

2013

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como objeto analizar y seleccionar un proceso productivo que mejor se adapte a las necesidades de PHL S.R.L., una Pequeña Y Mediana Empresa (PYME) localizada en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires que se dedica a la transformación de bobinas de papel en rollos de papel higiénico y rollos de cocina (para consumo doméstico) y su posterior comercialización en el mercado mayorista y minorista.

El interés de PHL es encontrar el diseño óptimo del proceso productivo que le permita alcanzar los objetivos de ventas planteados optimización los costos y utilización de recursos de su nueva línea de rollos institucionales (rollos de papel higiénico de 300 metros de longitud de papel). Planteado dicho objetivo, dos modelos de producción fueron diseñados y estudiados con la finalidad de seleccionar la alternativa más adecuada a las necesidades de PHL.

La primera alternativa consiste en un diseño similar al proceso productivo que PHL emplea actualmente en su línea de rollos de papel higiénico domésticos (hasta 100 metros de longitud de papel). La segunda alternativa contempla un diseño utilizando una nueva tecnología de máquinas para el rebobinado del papel que se encuentra disponible en el mercado desde hace pocos años.

Considerando la complejidad del comportamiento de las distintas variables que intervienen en sistema, la imposibilidad de emplear un algoritmo matemático de optimización y la naturaleza de las reglas que rigen el sistema, para la resolución del problema se empleará la metodología de simulación de Monte Carlo, ideal para el estudio de sistemas de comportamiento estocástico. Para ello se utilizará la herramienta informativa de simulación denominada ARENA.

Posterior al desarrollo de todos los pasos requeridos para un estudio completo de simulación, se obtienen los resultados del mismo de las distintas corridas realizadas. Obtenidos dichos resultados se procede a realizar un análisis económico de las dos alternativas planteadas, comparando las estructuras de costos a nivel E.B.I.T. (beneficio antes de impuestos e intereses). La conclusión principal del presente estudio es que la alternativa más conveniente a nivel

económico resulta en la utilización de un esquema productivo (línea de producción) similar al usado por PHL en la actualidad.

TITULO: MODELIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO
DE UNA PYME

AUTOR: AGUSTIN LUIS LUDEVID – aludevid@yahoo.com

LEGAJO: 43177

FECHA DE PRESENTACION: 8/2013

EXECUTIVE SUMMARY

The present study intends to analyze and select a productive process that best suits the needs of PHL S. R. L., a small and medium-sized enterprise (SME) located in the Autonomous City of Buenos Aires that is dedicated to the transformation of roll paper in rolls of toilet paper and kitchen rolls (for domestic consumption) and its subsequent commercialization in the wholesale and retail market.

The interest of PHL is to find the optimal design of the production process, which will enable them to achieve the sales goals, raised optimization costs and resource utilization of a new line of institutional rolls (rolls of toilet paper of 300 meters in length of paper). Raised this objective, two production models were designed and studied with the purpose of selecting the most suitable alternative to the needs of PHL.

The first alternative is a design similar to the productive process that PHL currently employs in its line of rolls of toilet paper household (up to 100 meters of paper length). The second option provides a design using a new technology for the rewind machines of the paper that is available in the market since a few years ago.

Considering the complexity of the behavior of the different variables involved in system, the failure to employ a mathematical algorithm of optimization and the nature of the rules that govern the system to the resolution of the issue will be used the methodology of Monte Carlo simulation, ideal for the study of stochastic systems of behavior. This will be executed with the simulation tool called ARENA.

Subsequent to the development of all the steps required for a full study of simulation, the results of the same of the various runs made. Obtained these results will be appropriate to carry out an economic analysis of the two alternatives, by comparing the cost structures to level E. B. I. T. (Profit before interest and taxes). The main conclusion of this study is that the more desirable

alternative to economic level results in the use of a productive scheme (production line) similar to that used by PHL at present.

TITLE: MODELIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA PYME / MODELIZATION AND OPTIMIZATION OF A SME PRODUCTIVE PROCESS

AUTHOR: AGUSTIN LUIS LUDEVID – aludevid@yahoo.com

FILE: 43177

PRESENTATION DATE: 8/2013

Descriptor Bibliográfico

El objetivo del presente estudio es determinar el modelo de producción óptimo PHL S.R.L., desde el punto de vista económico. Se plantean dos alternativas de sistema productivo como objeto de estudio. La resolución del análisis se encara mediante la simulación de la línea de producción según el método Monte Carlo, utilizando el software especializado denominado Arena. Con el mismo se evalúan las dos alternativas planteadas y con los resultados obtenidos se realiza el estudio económico para determinar cuál es el proceso óptimo productivo que se mejor adecua a los requerimientos de PHL para la producción de su nueva línea de rollos de papel denominados institucionales.

INDICE

CAPITULO I – INTRODUCCION	3
1.1 - La Empresa y el mercado del papel.....	3
1.1.1.- Breve reseña sobre el Mercado del papel.....	4
1.1.2. – Enunciado del Problema y Estudio de Mercado.....	5
CAPITULO II – TEORIA DE SIMULACION DE MONTE CARLO	7
2.1. - Simulación de Procesos Estocásticos	8
2.2. - Método de Monte Carlo.....	10
2.2.1. – Aplicaciones de la Simulación Monte Carlo	12
2.3. - Definiciones	12
2.4. - Arena, la herramienta de simulación.....	14
2.4.1. - Módulos utilizados en el estudio de simulación	15
CAPITULO III – ESTUDIO DE SIMULACION	21
3.1. - Formulación del problema y conceptualización del modelo	23
3.1.1. - Formulación del problema.....	23
3.1.2. - Objetivos.....	24
3.1.3 - Conceptualización del modelo	25
3.1.3.1. - Descripción del proceso productivo	25
3.1.3.2. - Supuestos del modelo de simulación.....	31
3.2. - Modelo de datos	32
3.2.1. - Explicación de la proyección de ventas para 2014-2018.	32
3.2.2.- Explicación de toma de datos de las distintas etapas de producción del proceso actual.....	33
3.3. - Desarrollo del modelo en ARENA, validación y verificación	57
3.3.1.- Verificación	62
3.3.2. - Validación	64
3.3.3. - Diseño experimental y cálculo de cantidad de corridas	66
3.3.3.1 - Modelo A – Modelo empleando el sistema productivo actual	67
3.3.3.2.- Modelo B – Modelo empleando máquina rebobinadora de distintas características.....	71
3.4. - Determinación de cantidad de corridas.....	76
3.5. - Procesamiento y análisis de resultados.....	78
3.5.1. - Resultados de los Modelos A y B.	79
3.5.1.1.- Modelo A – Comparación de alternativas al modelo.....	81
3.5.1.2. – Modelo B - Comparación de alternativas al modelo.....	82
3.6. - Resumen de alternativas analizadas	83

CAPITULO IV – ANÁLISIS ECONOMICO.....	87
4.1. - Inversiones Iniciales	87
4.1.1. - Activo Fijo	87
4.2. - Gastos de producción.....	89
4.2.1. - Mano de Obra	89
4.2.2. - Materia Prima	90
4.2.3. - Gastos Generales de Fabricación	90
4.3 - Costo total de los modelos propuestos.....	92
4.3.1 - Costo total del Modelo A	92
4.3.2. - Costo total del Modelo B	93
CAPITULO V – CONCLUSION Y RECOMENDACIONES DEL AUTOR.....	97
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	99

CAPITULO I – INTRODUCCION

1.1 - La Empresa y el mercado del papel

Productos de Higiene y Limpieza S.R.L. (PHL) es una Pequeña y Mediana Empresa (PyME) radicada en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires desde Octubre de 1987 dedicada a transformación de bobinas de papel procesado en productos de higiene y limpieza: papel higiénico para uso hogareño, rollos de cocina y servilletas. PHL integra el rubro de empresas transformadoras¹ de papel en productos terminados que son comercializados en el mercado mayorista del ámbito de la ciudad de Buenos Aires bajo marcas propias o de terceros mediante acuerdos establecidos con los clientes.

En sus comienzos PHL se dedicó exclusivamente a la distribución de papel higiénico que compraba a productores mayoristas. A lo largo de los años la empresa incorporó una línea de producción propia para la transformación de grandes bobinas en rollos de papel higiénico tanto de marcas propias como de terceros. En la actualidad, además de comercializar este producto, la empresa distribuye servilletas y rollos cocina, los cuales compra a fabricantes mayoristas y comercializa bajo marcas de terceros. PHL es propietaria de 2 marcas registradas de papel higiénico: “Bahía” y “Felicitado”, las cuales distribuye en comercios del rubro y mercados de barrio en el ámbito de la ciudad de Buenos Aires.

Actualmente la empresa cuenta con 6 operarios trabajando en 1 turno de 8 horas diarias, 5 días a la semana dedicados a la línea de producción de papel higiénico. Adicionalmente la estructura contempla 1 repartidor de mercadería propio de la empresa, 1 empleado administrativo y 1 cadete. La logística de distribución esta 100% a cargo de PHL, aunque en casos especiales los clientes pueden pasar a retirar por planta el pedido.

En la actualidad PHL prescinde de vendedores dedicados a buscar nuevos clientes y canales de comercialización dado que la planta se encuentra

¹ Las empresas transformadoras compran las bobinas de acuerdo a la calidad del producto final (rollos) comercializado a las grandes productoras de papel.

trabajando a máxima capacidad y no existe posibilidad de ampliar la oferta a nuevos clientes. La empresa posee 2 inmuebles, uno donde se realiza la producción, y otro que se emplea como depósito. Este último fue adquirido en 2011 para en un futuro proyectar una nueva línea de producción, además de la existente en el otro inmueble, con el fin de llegar a 2 sectores de producción debido a que la capacidad instalada de la planta y almacenaje están llegando a su máximo nivel.

Los principales clientes de PHL son distribuidores mayoristas (88% de las ventas), empresas de limpiezas e instituciones privadas (9%) y cadenas de supermercados (3%), alcanzando en 2011 una facturación de 1.2 millones de pesos con un participación de mercado de aproximadamente 0.16% considerando todos los competidores del mismo². También existen los clientes “chicos” que compran en pequeñas cantidades. El 98% de las ventas se efectúan en la zona del gran Buenos Aires, habiendo una minoría de recepción en el interior del país (provincia de Neuquén, Río Negro y Tucumán).

1.1.1.- Breve reseña sobre el Mercado del papel

A nivel mundial la demanda de productos derivados del papel ha crecido alrededor de 40% en los últimos 15 años a un ritmo promedio de 3% anual. La región del MERCOSUR ha sido uno de los principales destinos de las inversiones. En Argentina la producción llega a casi dos millones de toneladas anuales, liderada principalmente por productos para embalaje, consumo hogareño y escritura e impresión.

A nivel local la mayor demanda radica en el papel para embalaje, representando aproximadamente el 50% del consumo. Seguido a este se ubican los papeles para impresión y escritura (20%) y los de consumo hogareño (servilletas, rollos absorbentes y papel higiénico - 11%).

² Fuente: Estudio de Mercado realizado por PHL en 2011.

1.1.2. – Enunciado del Problema y Estudio de Mercado

A raíz de un reciente estudio de mercado donde PHL detectó la existencia de un nicho dentro del mercado de productos de higiene con demanda insatisfecha actualmente no explotado por la empresa, la gerencia ha decidido analizar la factibilidad de ampliar la línea de productos actualmente comercializados incorporando a su oferta productos para el rubro institucional (empresas, hospitales, municipios y otras instituciones). Se ha detectado que este rubro demanda productos económicos, de menor calidad y mayor cantidad unitaria que los que PHL ofrece en la actualidad. El producto en cuestión se refiere a rollos de papel higiénico de 300 metros de longitud de papel a ser utilizados en ambientes públicos. Este tipo de producto demandará a PHL implementar una nueva línea de producción ya que actualmente el sistema productivo de la permite producir rollos de hasta 100 metros.

Es de interés de la gerencia de PHL realizar un análisis sobre el modelo de producción a instalar manteniendo los costos óptimos, maximizando la utilización de recursos para cumplir con la proyección de ventas para los próximos cinco años y cumpliendo con los requisitos de calidad de producto para los rollos institucionales. Esto se traduce específicamente en determinar la maquinaria más adecuada a instalar involucrando conceptos que aumentan la complejidad del análisis como el grado de utilización de recursos (mano de obra y equipamiento), estacionalidad de la demanda, condicionamientos especiales para cierto tipo de pedidos, etc.

Las herramientas consideradas a utilizar para el análisis y resolución de problemáticas relacionadas a procesos de producción son los siguientes:

- Simulación
- Modelos Heurísticos
- Modelos de optimización
- Diseño de instalaciones

CAPITULO II – TEORIA DE SIMULACION DE MONTE CARLO

Descritas las pautas sobre la problemática se procederá a ahondar sobre los detalles de la herramienta a emplear para resolver dicha cuestión: la simulación. Dada la naturaleza de los sistemas a estudiar en una simulación los procesos y modelos pueden clasificarse en dos: determinísticos o estocásticos. Un sistema determinístico es aquel que no contiene ningún elemento. En este tipo de sistema las variables de salidas quedan perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las variables de estado. Es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas. Por otro lado, en los sistemas estocásticos algún elemento del sistema posee una conducta aleatoria. En estos sistemas al definir las entradas del sistema no es posible asegurar los valores de salida.

En el mundo real, los sistemas siempre tienen elementos estocásticos ya sea por su propia naturaleza o porque son fenómenos no comprendidos actualmente. Considerando la problemática a resolver en el presente caso de estudio se procederá a desarrollar la teoría de simulación de procesos estocásticos.

La simulación tiene numerosas aplicaciones distinguiéndose la siguiente categorización de estadios en el análisis y resolución de problemas:

- **Experimentación:** ocurre cuando la experimentación directa sobre el sistema real es muy costosa o imposible o en la etapa del diseño de un nuevo sistema, así el modelo puede ir modificándose fácilmente hasta obtener el comportamiento deseado.
- **Predicción:** predecir el comportamiento del objeto real bajo ciertos estímulos. Se puede hacer así una evaluación de diferentes estrategias de acción.
- **Capacitación:** utilizar para capacitar en distintas áreas de aplicación.

Las áreas de aplicación de la simulación son diversas y muy numerosas destacándose las siguientes:

- Diseño y análisis de procesos de manufactura.
- Sistemas de inventario.
- Diseño y operación de sistemas de transporte.
- Evaluación de diferentes diseños para organizaciones de servicios.
- Análisis financieros o económicos.
- Análisis medioambientales

2.1. - Simulación de Procesos Estocásticos

La simulación es la imitación de un sistema o un proceso del mundo real durante un periodo de tiempo. Esta involucra la creación de un modelo artificial obtenido del mundo real mediante observaciones que permiten deducir conclusiones de las características operativas del sistema real que está representando. Este modelo comúnmente toma la forma de un conjunto de supuestos respecto a la operación del sistema, estos supuestos son expresados en forma de relaciones matemáticas y lógicas entre los objetos de interés del sistema.

Asimismo la simulación puede utilizarse en el estudio de sistemas en la etapa de diseño, antes de que dichos sistemas sean construidos. De esta manera los modelos de simulación sirven tanto como una herramienta de análisis para predecir efectos en sistemas existentes así como para predecir el comportamiento de sistemas nuevos.

La simulación de modelos puede clasificarse según la evolución de los mismos en el tiempo: continuos o discretos. Una simulación es continua cuando el estado de las variables que dominan el modelo cambia en forma continua a través del tiempo. Por otra parte la simulación discreta es aquella donde el estado de las variables cambia solo en punto discretos a través del tiempo debido a la ocurrencia de eventos. En la figura 2.1.1 se visualiza mejor estos conceptos.

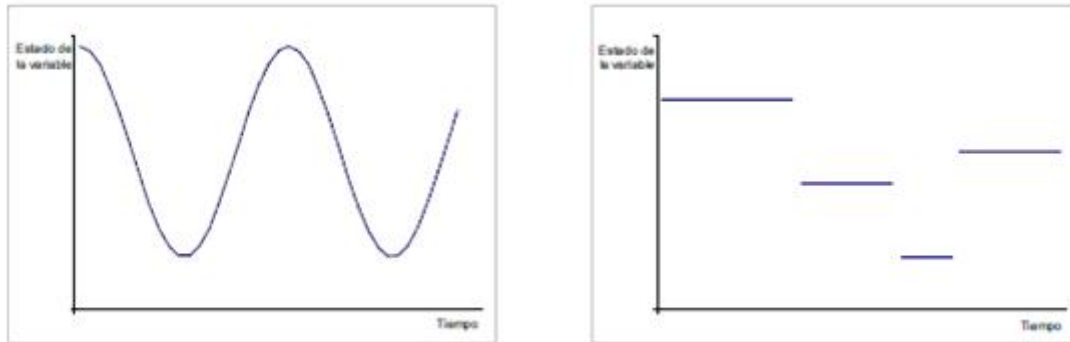


Figura 2.1.1. - Simulación continua (izq.) y simulación discreta (der.)

Las ventajas de la simulación frente a otras técnicas de resolución de problemas (analíticas) son:

- Flexibilidad para modelar procesos reales.
- Permite introducir factores probabilísticos y reglas de decisión.
- Permite controlar la velocidad del transcurso del tiempo.
- Permite una experimentación controlada.
- Evita costos o riesgos ya que no es necesario interrumpir el desarrollo del sistema para estudiar su comportamiento.
- Permite la evaluación de diseños alternativos de sistemas.

Por otro lado las desventajas de la simulación son:

- Los resultados que se obtienen no son exactos.
- Requieren de capacitación y conocimiento de la herramienta a utilizar.
- Los resultados pueden ser a veces difíciles de interpretar.
- Requiere una alta cantidad de datos confiables
- Si el sistema es complejo, desarrollar un modelo insuere tiempo y requiere capacidad

De acuerdo a lo estipulado en la figura 2.1.2. la simulación es una de las herramientas para realizar la experimentación matemática con modelos de sistemas reales sin experimentar con los mismos.

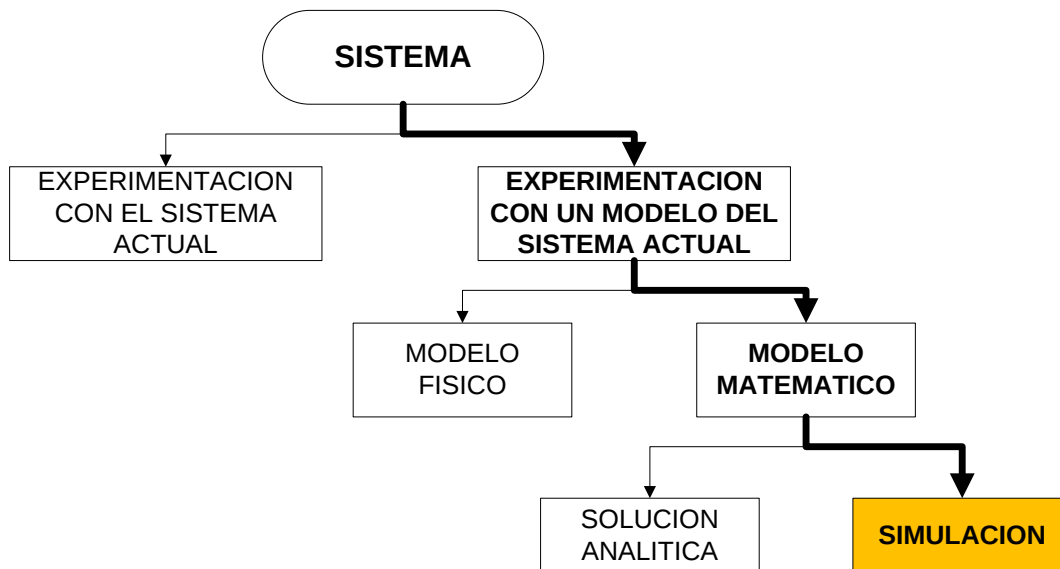


Figure 2.1.2. - La simulación en la experimentación de sistemas

2.2. - Método de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es un método que emplea números aleatorios uniformemente distribuidos empleado para resolver problemas matemáticos o físicos donde la evolución con el tiempo no es de importancia por medio de pruebas aleatorias repetidas. Este método asigna distribuciones probabilísticas a las variables de entrada obteniendo como resultado una distribución de probabilidades para las variables de salida (ver figura 2.2.1.)

Originalmente la simulación de Monte Carlo fue desarrollada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, para lo cual se utilizaron números aleatorios.

A través del tiempo fue evolucionando hacia una herramienta que utilizando variables aleatorias con distribución de probabilidad conocida permite resolver problemas tanto estocásticos como determinísticos. Cuando el tamaño de las muestras es relativamente reducido, los resultados obtenidos en la simulación pueden ser muy sensibles a las condiciones iniciales

Mediante este método, analizando distribuciones de variables aleatorias y utilizando las simulaciones de números aleatorios, es posible alcanzar la

solución a problemas matemáticos empleando como herramienta una computadora.

Para la generación de números aleatorios, sobre la cual se basa el presente método, se emplea el método de transformación inversa que utiliza las distribuciones acumuladas de frecuencias. Dicho algoritmo contempla los siguientes pasos:

- Determinar las variables aleatorias y sus distribuciones acumuladas.
- Generar un número aleatorio uniforme entre cero y uno.
- Determinar el valor de la variable aleatoria para el número generado de acuerdo a las clases que se tenga.
- Calcular media, desviación estándar y realizar el histograma.
- Analizar resultados para distintos tamaños de muestra.

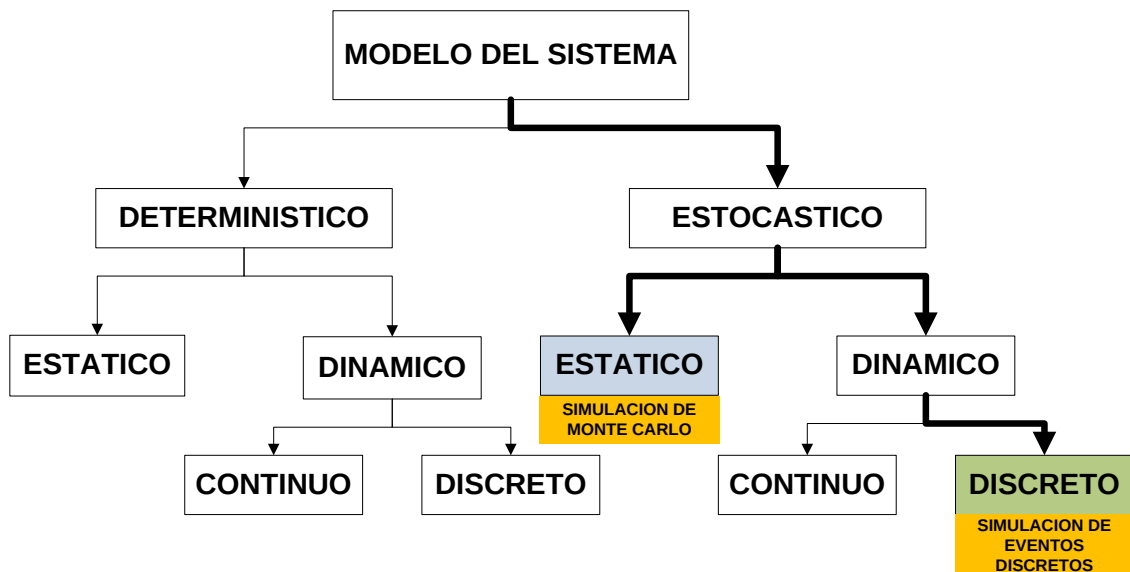


Figura 2.2.1. – Simulación de Monte Carlo en el modelado de sistemas

Otra opción para trabajar con Monte Carlo, cuando la variable aleatoria no es directamente el resultado de la simulación o se tienen relaciones entre variables, es la siguiente:

- Diseñar el modelo lógico de decisión.
- Especificar distribuciones de probabilidad para las variables aleatorias relevantes.

- Incluir posibles dependencias entre variables.
- Muestrear valores de las variables aleatorias.
- Calcular el resultado del modelo según los valores del muestreo (iteración) y registrar el resultado.
- Repetir el proceso hasta tener una muestra estadísticamente representativa.
- Obtener la distribución de frecuencias del resultado de las iteraciones.
- Calcular media y desvío.
- Analizar los resultados.

2.2.1. – Aplicaciones de la Simulación Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo se aplica en áreas diversas entre las que se destacan por la utilidad que presenta dicho método:

- Densidad y flujo de tráfico.
- Sistemas de colas
- Sistemas de inventario
- Métodos cuantitativos de organización industrial.
- Programas de computadora.

De esta manera se puede definir al método de Monte Carlo como una herramienta de investigación y planeamiento que, mediante la utilización de técnicas matemáticas como el muestreo artificial, permite el estudio y análisis de sistemas complejos con componentes aleatorias o deterministas.

2.3. - Definiciones

La simulación está inmersa en una terminología propia que la definen y permiten comprender el empleo de esta metodología en la resolución de problemas.

Sistema

Un Sistema se define como una colección de entidades (por ejemplo, personas, máquinas, etc.) que interactúan entre sí para alcanzar un fin común. En la práctica qué se entiende por sistema depende de los objetivos del estudio particular que se pretenda hacer. El conjunto de entidades que componen el sistema para un estudio puede ser sólo un conjunto de todas las entidades utilizadas para otro estudio.

Se puede definir el estado de un sistema con un conjunto de variables necesarias para describir el sistema en un punto particular de tiempo, relativo a los objetivos del estudio. La complejidad de un sistema está dada por el número de variables involucradas, las interrelaciones entre las mismas y la diversidad de tipos de variables y sus comportamientos. A continuación se describen las principales características de los sistemas complejos:

- Dinámicos: los cambios suelen darse en distintas escalas de tiempo y puede suceder que una variable que en el corto plazo se mantiene estable pero en el largo plazo varíe radicalmente.
- Gobernados por la retroalimentación: las decisiones alteran el estado del sistema causando cambios que dan origen a una nueva situación que influye en las próximas decisiones.
- No lineales: los efectos raramente son proporcionales a las causas. Múltiples factores interactúan entre sí.
- Dependientes de su historia: muchas acciones son irreversibles y condicionan la evolución futura del sistema.
- Auto-organizados: la dinámica del sistema surge espontáneamente debido a las características de su estructura interna.
- Adaptativos: las capacidades y las reglas de decisión cambian en el tiempo. Los agentes del sistema aprenden en base a la experiencia y toman decisiones con criterios distintos (no necesariamente mejores).
- No intuitivos: la causa y el efecto están separados en tiempo y espacio. Lo que a simple vista parece ser la causa, solo es un síntoma del problema. Es difícil encontrar puntos de apalancamiento.

Modelo:

El modelo es una representación simplificada de un sistema que se realiza con el propósito de poder estudiarlo. El modelo debe comprender todos los componentes del sistema que son relevantes para su estudio.

Variables:

Las variables representan la información necesaria y suficiente que describe la situación del sistema en determinado momento. Las mismas varían a lo largo del tiempo y están vinculadas con el propósito del estudio y el diseño del modelo.

Existen distintos tipos de variables entre las cuales se encuentran:

- Discretas y continuas
- Variables de estado y de flujo
- Independientes, relacionadas y aleatorias

Figura 2.3.1. - Tipos de Experimentación con sistemas

Entidades:

Las entidades son objetos o componentes del sistema que requieren representación explícita en el modelo.

Atributos:

Los atributos representan las propiedades que definen cada entidad.

Eventos:

Un evento es un hecho u ocurrencia que altera el estado del sistema. Entre eventos, el sistema permanece inalterado.

2.4. - Arena, la herramienta de simulación

La modelización y el posterior análisis del sistema en estudio en el presente emplearán el software de simulación ARENA. El mismo es un software específico para la simulación y automatización de procesos que utiliza el lenguaje de procesamiento denominado SIMAN. Dicho software está especialmente diseñado para analizar el impacto de cambios en procesos de

Supply Chain Management (Administración de la cadena de suministros), procesos de manufactura, logística, distribución y almacenamiento y sistemas de servicios.

Mediante esta herramienta es posible simular un proceso en detalle y analizar los resultados obtenidos y experimentar cambios en el modelo sin tener que implementarlos en tiempo real, ahorrando tiempo y recursos valiosos.

La interfaz del software permite al usuario construir el modelo experimental utilizando representaciones gráficas, denominadas módulos, que interconectadas entre si representan el sistema. Dichos módulos contemplan acciones específicas sobre las cuales las entidades fluirán en el tiempo definido para la simulación. Es importante remarcar que es el modelador el que define la construcción del modelo y mediante la utilización de información estadística relativa al sistema en estudio se representa, según el criterio del usuario, el modelo.

La mayor virtud del software se centra en la facilidad para construir y visualizar el modelo en estudio. Asimismo Arena presenta la posibilidad de realizar una animación de las corridas pudiendo así observar la dinámica del modelo. Esto permite realizar cambios o estudiar en detalle partes específicas del modelo donde puede presentarse una problemática a resolver.

Otra clara ventaja del Arena es su compatibilidad con los lenguajes de programación de Microsoft (Visual Basic y Access). Esto permite la integración junto con otros programas (como el Microsoft Office) en el momento de analizar los resultados y obtener conclusiones sobre la simulación y el sistema.

2.4.1. - Módulos utilizados en el estudio de simulación

Para la modelización del sistema Arena utiliza diferentes módulos asociados a distintas funciones o roles del proceso. Mediante la utilización de estos módulos se procederá a construir el modelo referente al presente estudio. A continuación se detallarán los principales módulos del software con la finalidad

de poder comprender el funcionamiento del mismo para el desarrollo de la simulación.

Create:

Módulo de punto de partida de las entidades. Estas últimas son creadas utilizando un cronograma o basándose en tiempos entre arribos. Una vez generadas, las entidades abandonan el modulo para comenzar el procesamiento de las misma a través del sistema. El tipo de entidad se define en este módulo.

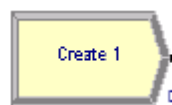


Figura 2.4.1.1. - Modulo Create

Dispose:

Modulo utilizado por las entidades como punto de salida del modelo de simulación. Las estadísticas asociadas a cada entidad pueden ser guardadas antes que las mismas abandonen el sistema.



Figura 2.4.1.2. - Modulo Dispose

Process:

Modulo principal para el procesamiento de las entidades en la simulación.



Figura 2.4.1.3. - Modulo Process

Decide:

Módulo que permite introducir procesos de toma de decisiones. Incluye opciones para tomar decisiones basándose en una o más condiciones o probabilidades. Dichas condiciones pueden basarse en valores de atributos, valores de variables, tipos de entidades o una expresión. El módulo presenta dos o más puntos de salida dependiendo de las condiciones especificadas.

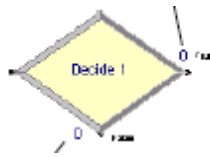


Figura 2.4.1.4. - Modulo Decide

Batch:

Módulo utilizado como mecanismo para agrupar entidades en el modelo. La agrupación puede ser definitiva o temporaria, esta última utilizando el modulo *Separate* para separar las entidades.

La agrupación de entidades puede realizarse especificando un número definido o igualando las mismas basándose en atributos. Entidades que arriban a este módulo son puestos en cola hasta tanto se acumule el número determinado de entidades. Una vez todas son acumuladas se genera una nueva entidad representativa.

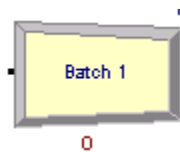


Figura 2.4.1.5. - Modulo Batch

Separate:

Módulo utilizado para copiar una entidad en múltiples entidades o separar una entidad previamente agrupada. A separarla la entidad representativa temporaria generada al agrupar es desechada y las entidades originales son recuperadas. Las entidades prosiguen secuencialmente en el mismo orden que fueron agrupadas.

Al duplicar entidades se realiza el número específico de copias y se envían del módulo junto con la entidad original.



Figura 2.4.1.6. - Modulo Separate

Assign:

Módulo utilizado para asignar nuevos valores a las variables, atributos de cada entidad, tipos de entidades entre otras. Es posible realizar asignaciones múltiples utilizando un solo módulo.



Figura 2.4.1.7. - Modulo Assign

Record:

Módulo utilizado para recolectar estadísticas del modelo. Varios tipos de estadísticas están disponibles incluyendo tiempo entre salidas del módulo, estadísticas de las entidades (tiempo, costo, etc.), observaciones generales e intervalos estadísticos.



Figura 2.4.1.8. - Modulo Record

Delay:

Módulo que demora una entidad por un determinado tiempo. Cuando una entidad arriba a este módulo se evalúa la expresión de demora y la entidad queda en el mismo por el periodo de tiempo resultante.



Figura 1. - Modulo Delay

Hold:

Módulo utilizado para retener una entidad en una cola a la espera de una señal, que se cumpla una condición determinada o de manera permanente.



Figura 2 - Modulo Hold

Match:

Módulo que agrupa un número específico de entidades que se encuentran a la espera en diferentes colas. Cuando una entidad arriba a este módulo se ubica en una de hasta cinco colas basado en el punto de entrada a donde se conecte. Las entidades permanecerán en su respectiva cola hasta tanto haya un match. Una vez machuada una entidad de cada cola se libera para machearse y salir del módulo.

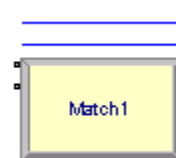


Figura 2.4.1.11. - Modulo Match

Readwrite:

Modulo utilizado para transcribir información en un dispositivo de salida, como ser la pantalla o un archivo. Los valores de los atributos, variables o expresiones listadas se escriben de acuerdo a un formato especificado.



Figura 3 - Modulo Readwrite

Signal:

Módulo que envía una señal a cada módulo *Hold* en el modelo que se encuentra seteado para esperar una señal y liberar las entidades. Cuando una entidad arriba al módulo señal, la señal es evaluada y se envía el código. Durante este tiempo las entidades en el módulo *Hold* que esperan por la misma señal son liberadas de las colas. Las entidades enviando la señal continúan en

el proceso hasta tanto se encuentren con un módulo *Delay*, ingresen en una cola o sean desechadas.



Figura 2.4.1.13. - Modulo Signal

CAPITULO III – ESTUDIO DE SIMULACION

Introducida la empresa, las herramientas y los conceptos teóricos básicos, en esta etapa se procederá al desarrollo del estudio de simulación con la finalidad de obtener resultados que permitan a PHL tomar una decisión sobre la problemática planteada considerando en todo momento los intereses propios de la empresa y los recursos disponibles.

El estudio de simulación se desarrollará en una serie de etapas, que a continuación se describen, sugeridas por el autor en función de lo establecido por las principales bibliografías sobre el tema.

1) Formulación del problema y conceptualización del modelo

En esta etapa del estudio se define el alcance del problema a resolver, los objetivos que se persiguen y se describe el proceso productivo de papel higiénico utilizado por PHL (sistema bajo estudio) con el propósito de familiarizarse con la operación de la empresa. Finalmente, se determina el modelo conceptual que se utilizará en donde se indicará los aspectos que serán representados en el modelo y su nivel de detalle.

2) Recolección de datos

Tomando como base los resultados obtenidos del estudio de mercado realizado por PHL y los datos obtenidos de mediciones sobre el proceso de producción actual se establecerán las distribuciones empíricas las principales variables que gobiernan el proceso. Para poder hacer análisis e inferencias estadísticas confiables, se requiere de muestras de un tamaño considerable que servirán de input al modelo.

Posteriormente, mediante pruebas estadísticas, se verificará que las distribuciones empíricas se comporten como alguna distribución teórica conocida con el propósito de obtener un conjunto de parámetros que luego

serán utilizados en la siguiente etapa para el desarrollo del modelo de simulación.

3) Desarrollo del modelo en ARENA, validación y verificación

Esta etapa establecerá el programa de cómputo que será utilizado y se procederá a la etapa de codificación del modelo en el software Arena. Asimismo en esta sección, se definirán las condiciones de entrada e iniciales del modelo, se realizarán las pruebas piloto y por último se procederá a la validación y verificación del modelo.

La verificación del modelo está asociada al buen desempeño de la herramienta informática. Con modelos complejos resulta imposible traducir un modelo exitosamente en su totalidad sin una buena medida de prueba, error y corrección que aproxime el modelo al sistema real. Representando parámetros de entrada y las estructuras del modelo son correctamente representados en la computadora, la verificación se da por finalizada. En su mayor parte, el sentido común se utiliza para completar esta etapa.

Consecuente de la verificación, la validación determina si el modelo es una representación precisa del sistema real. La validación se logra generalmente a través de la calibración del modelo: un proceso iterativo que consiste en comparar el modelo con la conducta del sistema observado y utilizar las discrepancias entre ambos para mejorar el modelo. Este proceso se repite hasta que, a juicio del modelador, la precisión obtenida sea aceptable.

4) Diseño experimental y cálculo de cantidad de corridas

Esta etapa definirá los distintos experimentos a realizar (distintas alternativas planteadas) con el modelo base de simulación desarrollado en la etapa anterior. Contempla la readaptación de la representación en el software utilizado y, finalmente, la selección y recolección de la información obtenida como output o resultado. También en esta etapa se definirá la cantidad de corridas de simulación necesarias para los experimentos propuestos a partir del

grado de precisión y nivel de confianza deseados con el objeto de obtener los valores de interés; y finalmente se analizan los resultados.

5) Procesamiento y análisis de resultados

Finalmente, una vez corridos todos los modelos y recopilado el output de los mismos, en esta etapa se estudiará la información obtenida en función de los objetivos planteados para este estudio.

3.1. - Formulación del problema y conceptualización del modelo

3.1.1. - Formulación del problema

El mercado del papel higiénico, como lo demuestra el estudio de mercado recientemente realizado por PHL, indica que el consumo está cada vez más orientado a productos de mejor calidad (papel blanco, doble hoja y texturado). En la actualidad la empresa concentra su producción en el papel higiénico destinado a consumo doméstico (canal masivo). Este nicho del mercado se caracteriza por ofrecer una amplia variedad de productos terminados clasificados por color (blanco o gris), cantidad de hojas (simple, doble o triple) y terminación (troquelado, texturado o decorado) donde el metraje de los rollos es inferior a los 100 metros.

En el afán de aumentar su participación en el mercado, la empresa ha detectado un rubro en crecimiento donde la demanda, en calidad y variedad de productos, no se encuentra satisfecha: el canal institucional. Este nicho del mercado se caracteriza por demandar productos de mayor calidad siendo la presentación de los mismos en rollos de metraje superiores a los 300 metros.

La actual capacidad instalada de PHL no le permite producir rollos con metraje superior a los 100 metros (limitado por las características productivas de la actual maquinaria instalada). La única línea de producción instalada en la actualidad se encuentra dedicada a la producción de papel higiénico para uso doméstico que ofrece productos en largos menores a 100 metros. Si bien

ofrece versatilidad para producir productos de diferentes colores, cantidad de hojas y terminaciones, el limitante está dado por la longitud de los rollos.

Considerando lo arriba expuesto, la gerencia de PHL ha decidido ampliar la capacidad productiva incorporando una nueva línea de producción dedicada a la fabricación de productos a comercializarse en el canal institucional. Para ello la empresa ha adquirido en 2011 un inmueble, actualmente acondicionado y utilizado como depósito para almacenar materia prima y productos terminados, donde proyecta instalar una nueva línea de producción de papel higiénico institucional.

3.1.2. - Objetivos

El objeto del presente trabajo llevar a cabo un análisis sobre el modelo de producción a instalar para la fabricación de papel higiénico institucional maximizando la utilización de recursos y manteniendo los costos lo más bajo posible con la finalidad de cumplir con la proyección de ventas para los próximos cinco años. Esto se traduce específicamente en determinar la maquinaria más adecuada a instalar involucrando conceptos que aumentan la complejidad del análisis como el grado de utilización de recursos (mano de obra y performance de la maquinaria por ejemplo), estacionalidad de la demanda, costos de producción y layout de la instalación.

Para ello se analizarán dos alternativas de maquinaria con características y prestaciones diferentes (características de la materia prima empleada y productividad) y se determinará la alternativa que mejor resulte desde el punto de vista económico y de diseño de planta para la empresa para cumplir con el plan de ventas 2014-2018 determinado a partir del estudio mercado.

El análisis y resolución de la problemática arriba expuesta se abordará mediante un estudio de simulación teniendo en cuenta la reducida capacidad de los métodos determinísticos de incorporar las condiciones particulares y reglas que hacen al proceso de fabricación de esta empresa, las cuales se desarrollaran con mayor detalle en etapas posteriores del presente trabajo.

3.1.3 - Conceptualización del modelo

En esta etapa se describirá el proceso de producción actual: fabricación de papel higiénico hogareño de rollos hasta 100 metros. Se utilizará el modelo y layout productivo desarrollado por PHL, cuya modelización servirá de base para plantear y experimentar con las dos alternativas durante el diseño experimental con el fin de simular el modelo de la nueva línea de producción. Esta descripción abarcará las reglas fundamentales de la operación diaria y las simplificaciones o supuestos que se utilizaran para simular el comportamiento de este sistema.

Es importante remarcar que el proceso productivo que se describirá a continuación, si bien es el que actualmente se utiliza para la fabricación de papel higiénico doméstico, también aplica para la nueva línea de producción de papel institucional ya que el flujo productivo es similar en ambos casos. Se utilizará el proceso actual como base para adquirir datos propios del sistema y se adaptarán las mejoras propuestas por la empresa para la nueva línea de producción. La principal diferencia que se observará se centra en la maquinaria empleada que por razones de evolución de tecnologías a lo largo de los años (la maquinaria actual posee 15 años de antigüedad) ha superado ampliamente las prestaciones de la actual planta (en performance y confiabilidad) y en eliminación de algunas etapas intermedias de fabricación que más adelante serán explicadas.

3.1.3.1. - Descripción del proceso productivo

El proceso de transformación de rollos de papel higiénico parte de la utilización de bobinas de papel como materia prima principal para obtener como producto terminado rollos de diferentes dimensiones y calidades, que son comercializados por PHL en bolsones.

Insumos productivos directos

- *Bobinas:*
 - o Dimensiones: 2.2 metros de largo (longitud estándar de fabricación)
 - o Peso: entre 250 y 300 Kg. (entregado de acuerdo a lo producido por el proveedor dentro del rango mencionado)



Figura 3.1.3.1.1. - Bobina y especificaciones

- *Tubos de Cartón (Log):* dimensiones:

Largo	2.3 metros
Diámetro*	4.5 centímetros

*medida estándar del diámetro interno de los rollos de papel higiénico

- *Bolsas de polietileno (bolsón):* de acuerdo a la cantidad y tamaño de rollos por bolsón
- *Etiquetas de papel.*

Todos estos insumos son provistos por tres proveedores distintos. En el caso del principal insumo, la bobina de papel, existe un acuerdo de provisión de bobinas con el proveedor: Papelera Navarro que desde hace 15 años trabaja con exclusividad con PHL. El acuerdo con este proveedor permite mantener al mínimo el stock y ocupación del sector de almacenaje de la planta ya que realiza entregas semanales manteniéndose una provisión constante de materia

prima. No obstante, PHL mantiene una política de stock de seguridad de 21 días de producción.

Para los tubos de cartón, bolsas y etiquetas se mantiene un stock amplio para evitar posibles desabastecimientos ya que el volumen demandado en comparación al mercado no permite establecer acuerdos de provisión asegurada.

Proceso de producción

Yendo al proceso productivo el mismo está dividido en secciones (las cuales cada una empleará una máquina que cumple una función determinada) que se describen a continuación siguiendo el orden cronológico de fabricación:

- **Rebobinado**

Constituye el inicio del ciclo productivo. Tal como su nombre lo indica, en esta sección del proceso se realiza la transformación del papel de bobina a rollo. En este proceso se emplea una máquina rebobinadora que rebobina el papel de la bobina en *logs* de dimensiones menores (diámetro externo).

El mismo se inicia con el transporte de la bobina de papel mediante una zorra manual desde la zona de depósito hasta el pie de la máquina rebobinadora realizada por un operario. Mediante la utilización de un aparejo la bobina es montada en la máquina donde se ajusta y calibra para que luego el operario coloque el papel de la bobina a través de dos rodillos hasta el otro lado de la máquina. En el otro extremo de la máquina, sobre un eje con dos rodillos rotativos, se monta el tubo de cartón (*log*) que se utilizará como eje base del rollo. Una vez que el papel es estirado desde la bobina, a través de los rodillos que guíen el papel hasta el *log*, el operario debe pegar el papel al tubo de cartón utilizando un pegamento líquido.

Una vez realizado el setup de la bobina en la rebobinadora, el operario programa la rebobinadora, la cual posee un instrumento de control numérico, en función del largo de rollo requerido y la velocidad de la máquina deseada.

Posteriormente el mismo acciona la rebobinadora y luego de realizar el rebobinado del papel en el tubo de cartón la máquina detiene automáticamente su marcha al alcanzar el largo requerido. En este proceso la máquina mediante los rodillos efectúa el gofrado (pequeñas ondulaciones en el papel), lo que le otorgan mayor calidad al producto final. Al detener la marcha, el operario debe cortar el papel entre la bobina y el rollo y aplicar pegamento sobre el papel del rollo para unir el mismo. A finalizar esta operación, el operario desmonta el *log* de la rebobinadora, carga un nuevo *log* vacío entre los rodillos de la rebobinadora, pega el papel al nuevo *log*, acciona la máquina y luego transporta el *log* a la sección de corte, mientras espera que se termine el proceso de rebobinado que depende del largo del rollo requerido y velocidad de la máquina.

- **Cortado**

En esta sección se realiza el corte del *log* para obtener como producto los rollos de papel. Para este proceso se emplea una sierra circular sin fin de 1 metro de diámetro y una mesa de trabajo. La sierra es utilizada por un operario para realizar el corte del tubo largo en tubos de 10cm de largo (longitud estándar) mediante una plantilla construida con tal finalidad. Los tubos luego de ser cortados se deslizan por una canaleta que los deposita en una mesa de trabajo. Allí luego el operario realizará el embolsado y etiquetado de los mismos.

Durante el proceso de corte el operario se encarga de inspeccionar la calidad de los rollos, descartando aquellos que presentan fallas. Identificada una falla menor en el rollo, el operario realiza el ajuste necesario sobre el mismo. En caso que sea rechazado porque no es posible realizar un ajuste, el rollo es descartado para su posterior venta como scrap. Asimismo dicho proceso produce sobrantes (scrap) de ambos extremos del *log*, los cuales son depositados en un contenedor próximo a la sierra para luego ser enfardados y vendidos a empresas recicladoras de papel.

- **Embolsado, etiquetado y termosellado**

Esta sección se encuentra contigua a la de cortado. En ella un operario toma los rollos de la mesa de trabajo, que desemboca mediante una canaleta a un buffer luego de ser cortados, y los embolsa de acuerdo a la cantidad que requiere la bolsa (entre 4 y 6 rollos por bolsa). Posteriormente le coloca una etiqueta dentro de la bolsa y deposita manualmente las bolsas, sin moverse del lugar, en la máquina de termosellado.

Dicha máquina es contigua a la mesa de embolsado y etiquetado por lo que el operario coloca la bolsa en la máquina accionando la misma utilizando su pie. Esta máquina utiliza dos resistencias eléctricas que prensan el plástico sellándolo para cerrar la bolsa utilizando calor. Una vez sellado el mismo, luego de remover el excedente de plástico resultante del sellado de la bolsa, el operario la deposita en un área anexa para ser inspeccionado y almacenado.

La figura 3.1.3.1.2 muestra un flujo grama del proceso según lo arriba expuesto.

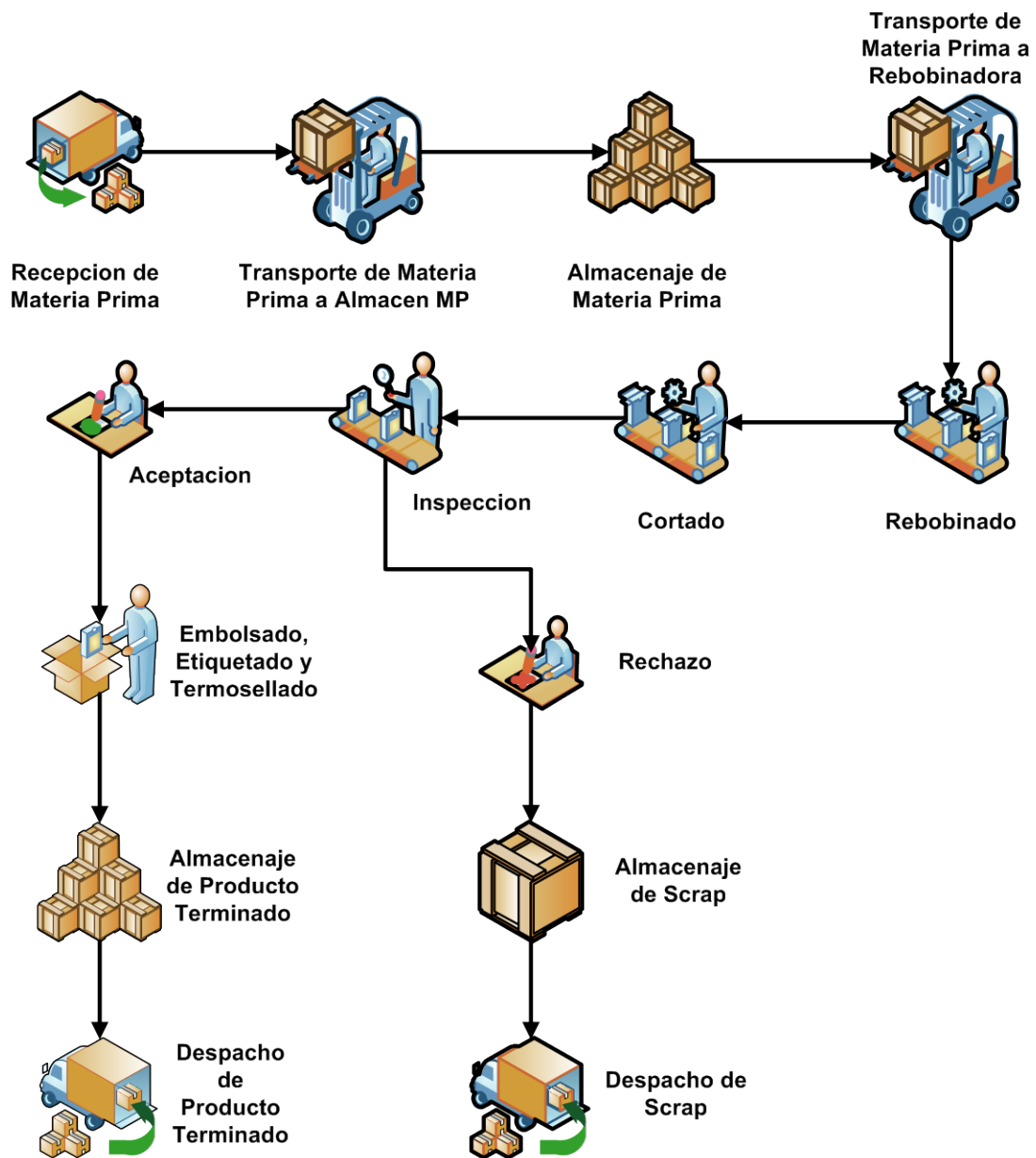


Figura 3.1.3.1.2. - Flujo grama del proceso productivo empleado por PHL

3.1.3.2. - Supuestos del modelo de simulación

Traducir en un lenguaje informático un modelo que represente el sistema con un 100% de precisión, si no es imposible, es una tarea extremadamente compleja y la cantidad de recursos necesarios para lograrlo serian desmedidos. Por lo tanto, estableciendo una serie de supuestos fundamentales elegidos a conciencia y luego de estudiar y lograr un profundo entendimiento del sistema, se puede simplificar la complejidad de la lógica requerida por el sistema y proporcionar resultados válidos para realizar conclusiones a partir de los mismos. Los supuestos elegidos a emplear en el caso en estudio se listan a continuación:

- PHL, para la nueva línea de producción en estudio, producirá el rollos denominados institucionales únicamente en papel blanco, doble hoja y gofrado de 300 metros de longitud y 9.5 cm. de diámetro externo.
- La provisión de bobinas de papel se considera *Just In Time* (JIT) mediante un acuerdo con proveedor a mediano plazo. El nivel de stock en planta es el mínimo necesario para asegurar 21 días de producción (stock de seguridad).
- Las bolsas de polietileno, tubos de cartón y etiquetas se compran en cantidades suficientes y su stock es controlado mediante punto de reorden, sin considerar el período de reaprovisionamiento como un tiempo significativo.
- No son tomados en consideración factores fuera del alcance del control de la empresa que comprometan el proceso productivo como pueden ser retraso de proveedores, falta de insumos y/o materia prima, huelgas, etc.
- No se contempla merma en la capacidad productiva de las máquinas durante su uso en los días de producción. Las mismas reciben mantenimiento durante los horarios posteriores al turno productivo y durante los fines de semana.
- Se considera disponibilidad total de operarios y otros recursos utilizados para la producción: electricidad, sistemas computacionales para el procesamiento de pedidos, etc.

- Se considera 1 único turno de trabajo de 8.5 horas (8 horas de trabajo y 0.5 horas de almuerzo) de lunes a viernes. No se trabaja fines de semana ni feriados, a excepción que sea requerido.
- Se realizan entregas diarias de bolsones contando con espacio suficiente de almacenaje en todo momento.

3.2. - Modelo de datos

3.2.1. - Explicación de la proyección de ventas para 2014-2018.

PHL ha llevado a cabo un estudio de mercado, contratando recursos externos de la empresa, para realizar una proyección de ventas de la nueva línea que buscar lanzar al mercado: los rollos de papel institucionales.

En función al estudio de numerosas variables que fueron contempladas (encuesta a clientes de PHL, proyecciones de demanda del mercado de papel en la argentina, inserción en el mercado de productos PHL por canal, evolución de variables macroeconómicas, entre otras) la demanda proyectada estimada se muestra en la siguiente tabla 3.2.1.1.:

Año	Ventas rollo institucional PHL (kgs)	Ventas rollo institucional PHL (bolsones)	Market Share PHL (%)	Ventas Totales PHL (Kgs)
2014	160,000	66,667	0.38	438,786
2015	200,000	83,333	0.42	485,802
2016	240,000	100,000	0.45	533,042
2017	276,000	115,000	0.49	581,138
2018	317,400	132,250	0.52	632,150

Tabla 3.2.1.1. - Proyección de ventas PHL

La figura 3.2.1.2. muestra la estacionalidad anual de ventas de papel higiénico de acuerdo a los registros de ventas de PHL de los últimos cinco años. Se observa que el segundo semestre es de mayor actividad respecto al primero.

En el mes de Febrero puede notarse la caída en las ventas debido a que es el mes donde se reduce la producción por vacaciones en la fábrica.

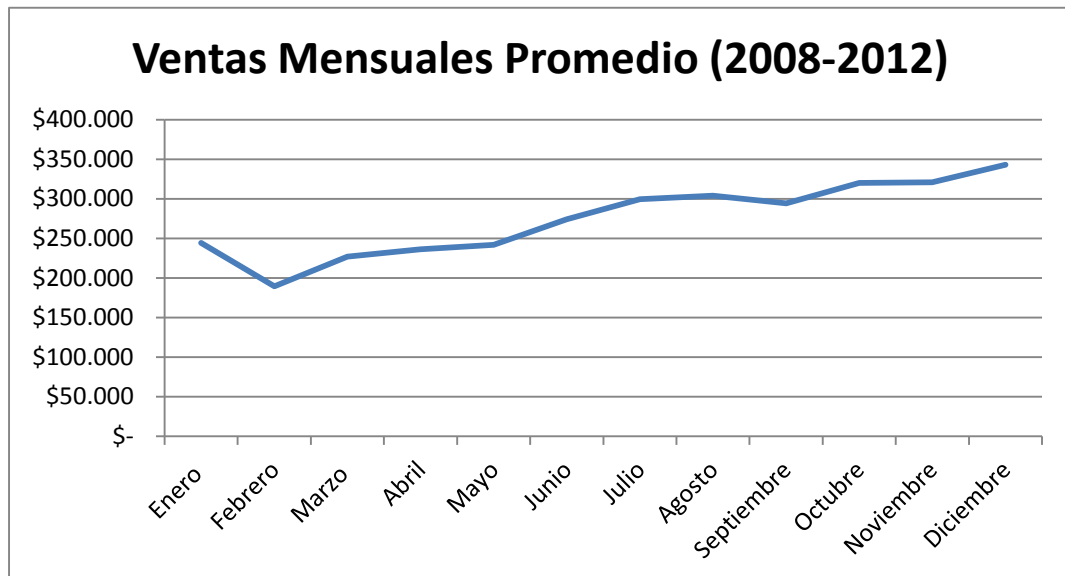


Figura 3.2.1.2. – Estacionalidad de las ventas de PHL

3.2.2.- Explicación de toma de datos de las distintas etapas de producción del proceso actual.

El presente proyecto comprende el desarrollo de una nueva línea de producción actualmente no existente. Para poder establecer el modelo de datos el cual se empleará para simular la nueva línea de producción, la toma de datos se realizó sobre el proceso productivo actual para rollos menores a 100 metros.

Para ello se realizaron mediciones sobre el proceso actual descrito anteriormente durante. La toma de datos se realizó durante 3 días de producción en jornadas de 2 horas. Dichas mediciones fueron realizadas sobre todas las etapas del proceso productivo para la fabricación de rollos de papel higiénico blanco, hoja simple gofrada de 100 metros de longitud.

Variables y parámetros que rigen el proceso productivo

El estudio de las variables y parámetros que rige el proceso productivo es de fundamental importancia para poder caracterizar correctamente el modelo de

simulación. Es por ello que, en función de datos medidos sobre el proceso real, información estadística provista por PHL y mediante aproximaciones y asunciones hechas sobre el proceso, se procede a estudiar detalladamente cada variable para determinar así una distribución asociada que luego será utilizada como input al modelo.

A continuación se pasará a detallar las principales variables y parámetros que rigen el modelo del proceso productivo:

Variable	Nomenclatura	Descripción
<i>Peso de la Bobina</i>	PB	peso bruto de la bobina de papel utilizada en el proceso de rebobinado
<i>Largo de la Bobina</i>	LB	largo total de la bobina de papel utilizada en el proceso de rebobinado
<i>Peso del Log</i>	PL	peso bruto del log de cartón con papel luego de haber sido rebobinado
<i>Tiempo total de recorrido del sistema</i>	TS	es el tiempo insumido en fabricarse un lote de producción (procesamiento de una bobina completa)
<i>Tiempo de setup de la máquina rebobinadora</i>	TSMR	tiempo insumido en poner en funcionamiento la máquina al introducir una nueva bobina
<i>Tiempo de rebobinado</i>	TR	Tiempo insumido en realizar el rebobinado de un <i>log</i> . Comprende el tiempo desde que el operario toma el log de cartón vacío, lo coloca en la maquina rebobinadora, acciona la maquina rebobinadora y retira el log cargado de papel
<i>Tiempo de transporte</i>	TTMRC	se realiza manualmente por el

<i>entre la máquina rebobinadora y la máquina de cortado</i>		operario
<i>Tiempo de cortado de log en rollos</i>	TCLR	<i>tiempo insumido por el operario en cortar el log en rollos</i>
<i>Tiempo de control de rollos y ajustes</i>	TCYA	<i>tiempo insumido por el operario en controlar, ajustar y descartar los rollos no aptos</i>
<i>Tiempo de embolsado de rollos en bolsa</i>	TERB	tiempo insumido por el operario en tomar los rollos dispuestos sobre la mesa y embolsarlos en bolsa
<i>Tiempo de transporte entre la sector de embolsado y máquina de termosellado</i>	TTET	
<i>Tiempo de termosellado bolsas</i>	TTB	tiempo insumido por el operario en acomodar la bolsa en máquina termoselladora, termosellar la misma y retirar bolsa de la máquina
<i>Tiempo transporte hacia depósito o despacho</i>	TTD	
<i>Proporción de rechazos y scrap</i>	PRYS	Cantidad de producto defectuoso que se descarta y por ende genera pérdidas en la eficiencia de la línea de producción. La misma depende de dos factores a saber: por un lado los descartes realizados por la máquina al cortar los <i>logs</i> y por el otro el control visual realizado por el operario donde existe la probabilidad de encontrar un rollo defectuoso

Como se mencionó anteriormente el estudio de la naturaleza del comportamiento de cada una de estas variables es de vital importancia para poder caracterizar el proceso y traducirlo al modelo de simulación. A continuación se procederá a determinar las distribuciones probabilísticas de las variables que a la postre se utilizarán para generar muestras artificiales que servirán de input al modelo de simulación.

Determinación de las distribuciones probabilísticas de las variables

Peso de Bobina (PB)

El estudio de esta variable es determinante ya que el peso de la bobina definirá la cantidad de producto terminado que se obtendrá en cada lote de producción. La venta de bobinas en mercado no se realiza en función del largo sino por su peso, ya que existen diversos gramajes y calidades de papel y además resulta más fácil su medición. Es por ello que se utilizará como variable el peso de cada bobina para determinar el input al modelo productivo propuesto.

Uno de los métodos para estudiar y determinar la ley del comportamiento del peso de la bobinas de papel que utiliza PHL, medida en kilogramos, consiste en determinar si una variable responde a un determinado comportamiento comparando cualitativamente el gráfico de la distribución teórica, utilizando los parámetros calculados sobre la muestra, con el histograma de frecuencias de la misma.

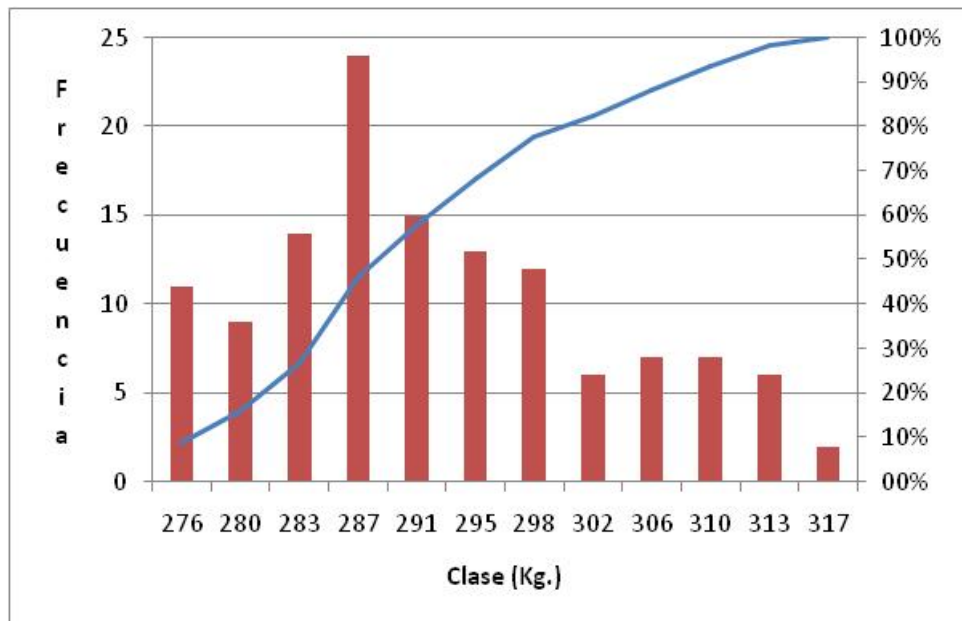


Figura 3.2.2.1. - Histograma de frecuencia de peso de bobina

De la figura 3.2.2.1. intuitivamente puede observarse que el histograma se ajusta a la curva que representa el comportamiento teórico según la distribución normal, lo cual es un buen indicador de que la elección de la distribución ha sido acertada. Para traducir esto y obtener una conclusión definitiva en base a un método objetivo y analítico, se emplea el test de bondad de ajuste chi-cuadrado. Este se basa en la comparación del número de observaciones obtenido contra el número esperado de observaciones. Los pasos para la ejecución del test chi-cuadrado se listan a continuación:

1. Establecer la hipótesis nula: definir que la muestra a evaluar podría corresponder a una determinada distribución teórica. En este caso la distribución Normal.
2. Cálculo del estadístico (χ^2) del test chi-cuadrado a partir de la muestra. La fórmula correspondiente es la que sigue:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

O_i = número de observaciones en el i-esimo intervalo o clase.

E_i = numero esperado de observaciones en el i-esimo intervalo o clase. Resulta de multiplicar la probabilidad de ocurrencia P_i , correspondiente a cada clase, y el tamaño de la muestra. Se considera una buena práctica tomar valores no menores a tres para este parámetro.

n = número de intervalos

En la tabla 3.2.2.2. se puede apreciar la información utilizada para realizar el histograma antes presentado y calcular el estadístico del test. **El valor de la media (μ) de la muestra es de 294,01 y el desvío (σ) es de 11,03.**

<i>Clase (kg)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frec. Acumulada</i>	<i>p(i)</i>	<i>E(i)</i>	<i>[O(i)-E(i)]²/E(i)</i>
276.0	11	8.7%	0.14	17.25	2.26
279.7	9	15.9%	0.08	10.51	0.22
283.5	14	27.0%	0.06	7.18	6.48
287.2	24	46.0%	0.04	5.50	62.18
291.0	15	57.9%	0.04	4.73	22.28
294.7	13	68.3%	0.04	4.56	15.59
298.4	12	77.8%	0.04	4.94	10.09
302.2	6	82.5%	0.05	6.00	0.00
305.9	7	88.1%	0.06	8.17	0.17
309.7	7	93.7%	0.10	12.48	2.41
313.4	6	98.4%	0.17	21.39	11.08
317.2	2	100.0%	0.33	41.14	37.24
Estadístico					170.0

Tabla 3.2.2.2. - Resolución del test Chi-cuadrado para el peso de bobinas

Al valor obtenido del estadístico se lo compara con los valores de tabla para determinar con qué nivel de confianza no se rechaza la hipótesis nula. En este caso particular se obtiene que la hipótesis nula, con un nivel de confianza cercano al 95%, no se rechaza.

Con lo observado en el histograma de frecuencias y el elevado nivel de confianza obtenido en el test, se puede concluir que el uso de la distribución de

Normal para representar el comportamiento del peso de las bobinas utilizadas por PHL es adecuado.

Largo de Bobina (LB)

En este caso el largo de la bobina se asumirá como un parámetro constante que no tendrá variabilidad en el proceso. Se asume un largo constante del log dado que la variabilidad del largo de los mismos es mínima (del orden de centímetros) no alterando la cantidad de rollos producidos por la maquina rebobinadora. La variabilidad del largo de la bobina influye en la cantidad de scrap que se obtendrá al rebobinar y cortar los rollos, el cual no es objeto de estudio del presente proyecto.

El largo promedio medido de las bobinas es de 2.2 mts.

$$LB = 2.2 \text{ mts}$$

Peso del Log (PL)

El peso del log con papel, luego del proceso de rebobinado, se considerará constante del proceso ya que se asume que el rebobinado entregará la misma cantidad de papel en los logs. Si bien puede ocurrir que al terminarse una bobina el último log no contenga la cantidad de metros especificada, en el caso del presente trabajo la cantidad de papel se redondeará para que el log en cuestión tenga los parámetros definidos.

De acuerdo al peso promedio medido el mismo es de 2.2kg para un log de 2.2mts con 100mts de papel.

$$PL = 2.2\text{kg (para logs con 100mts de papel)}$$

Tiempo de setup de la máquina rebobinadora (TSMR)

El objetivo que se busca al evaluar esta variable, es poder determinar el tiempo que los operarios demoran en realizar el setup de la bobina en la rebobinadora

ya que es una tarea totalmente manual y la variabilidad introducida en la misma es muy grande.

El primer paso para determinar que distribución utilizar es, como se mencionó anteriormente, estudiar el histograma de frecuencias de la muestra observada. El mismo puede apreciarse en la figura 3.2.2.3. (junto con la curva de frecuencias acumuladas) y los valores empleados para su configuración se muestran en la tabla 3.2.2.4.

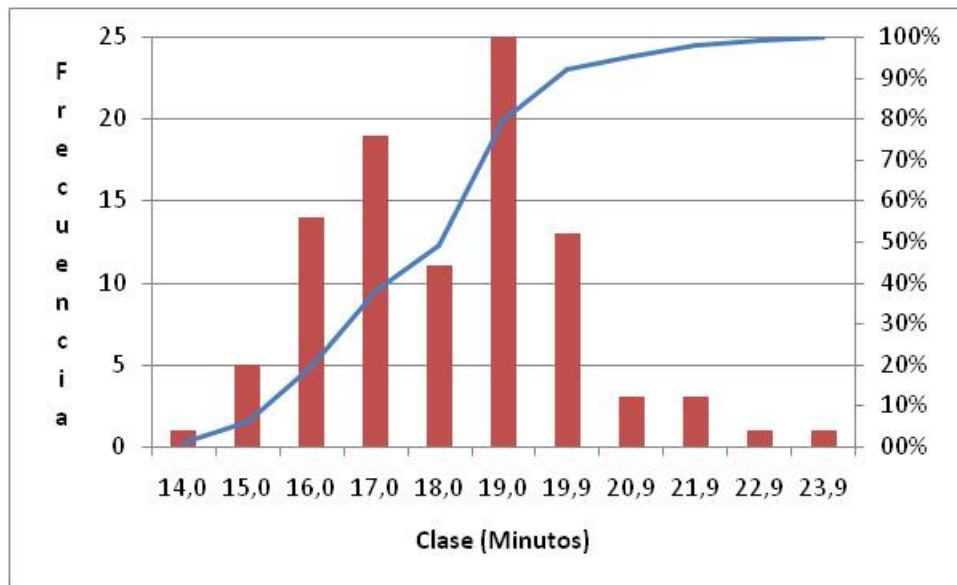


Figure 3.2.2.3. - Histograma de frecuencia de tiempo de setup de la maquina rebobinadora

<i>Clase (min)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Acumulada</i>
14.00	1	1.0%
14.99	5	5.9%
15.98	14	19.6%
16.97	19	38.2%
17.96	11	49.0%
18.95	31	79.4%
19.94	13	92.2%
20.93	3	95.1%
21.92	3	98.0%
22.91	1	99.0%
23.90	1	100.0%

Tabla 3.2.2.4. - Tabla de frecuencia acumulada de tiempo de setup de maquina rebobinadora

Si bien puede observarse que el histograma se asemeja al de una distribución normal, esta es incompatible debido a que, naturalmente, un tiempo no puede adoptar valores negativos. Determinar la distribución más adecuada para este tipo de variables es más complejo que en el caso del peso de la bobinas. No se observa del histograma un comportamiento que pueda fácilmente asemejarse a una distribución conocida.

El software Arena ofrece una aplicación complementaria, denominada Input Analyzer. Uno de los principales usos de esta herramienta es el de determinar la distribución (y el valor que adoptan sus parámetros característicos) a la que mejor se ajusta un set de observaciones o valores ingresado. El programa evalúa esto contrastando el ajuste de las principales distribuciones que se utilizan habitualmente en el campo de la estadística aplicada. Una vez ejecutado el software se obtienen, para la variable distancia, los resultados que se muestran en la figura 3.2.2.5.

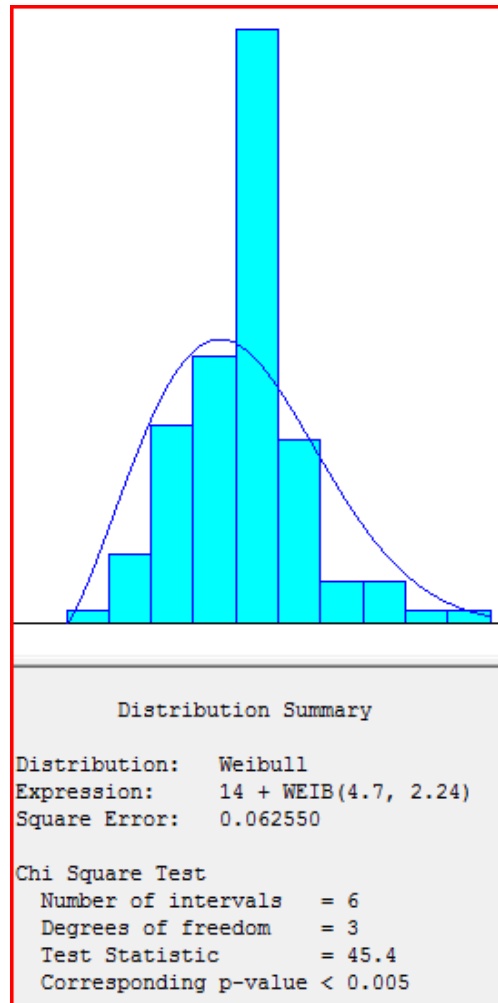


Figura 3.2.2.5. - Distribución ajustada a tiempo de setup de maquina rebobinadora

La herramienta Input Analyzer devuelve el histograma de frecuencias de los datos ingresados, superpuesto con la curva de la distribución elegida. En este caso se determina que el comportamiento de la variable responde a una distribución de Weibull desplazada, y que el nivel de confianza es superior al 99,9% según el test chi cuadrado.

$$\text{TSMR} = 14 + \text{WEIB}(4.7, 2.24)$$

El histograma difiere del antes presentado debido simplemente a que el Input Analyzer toma distintos intervalos en los que evalúa las frecuencias. A su vez, el programa devuelve la expresión que debe ser en el modelo de simulación para generar los respectivos valores aleatorios bajo la distribución determinada.

La distribución de Weibull es empleada generalmente para representar distribuciones que no pueden adoptar valores negativos. Esta situación se da por lo general con distribuciones simétricas como la normal, que representa tiempos de servicio o proceso. Si la media es pequeña y el desvío suficientemente largo, muchas observaciones se acumulan en el tramo izquierdo de la distribución adquiriendo valores cercanos a cero. Esto resulta en una distribución asimétrica. El tramo derecho puede todavía mostrar una forma clásica como la de cola derecha de una normal.

La distribución de Weibull posee dos parámetros característicos: el parámetro de forma α y el de escala, β . Dependiendo del valor de estos, la distribución puede tomar forma diversas, yendo desde una exponencial hasta una normal.

En la figura 3.2.2.6. se puede apreciar la forma genérica de la distribución Weibull y su función de densidad de probabilidad.

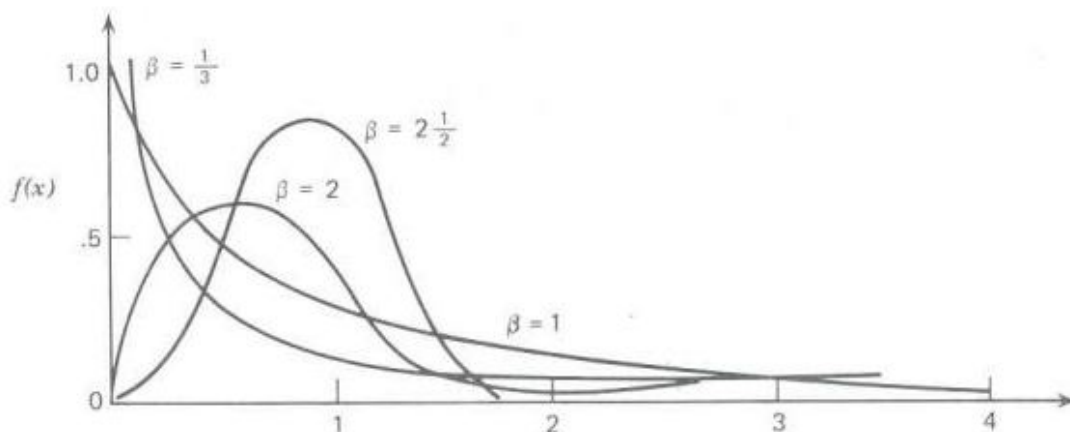


Figura 3.2.2.6. Distribución Weibull y su función de densidad de probabilidad

Tiempo de rebobinado (TR)

El objetivo que se busca al evaluar esta variable es poder determinar el tiempo total insumido para rebobinar un log de papel. Teniendo en cuenta que este proceso es el más importante de todo el ciclo durante la adquisición de los datos se prestó mayor importancia ya que, como se verá más adelante en el presente.

El primer paso para determinar que distribución utilizar es estudiar el histograma de frecuencias de la muestra observada. El mismo puede apreciarse en la figura 3.2.2.7. (junto con la curva de frecuencias acumulada) y los valores empleados para su configuración se muestran en la tabla 3.2.2.8.

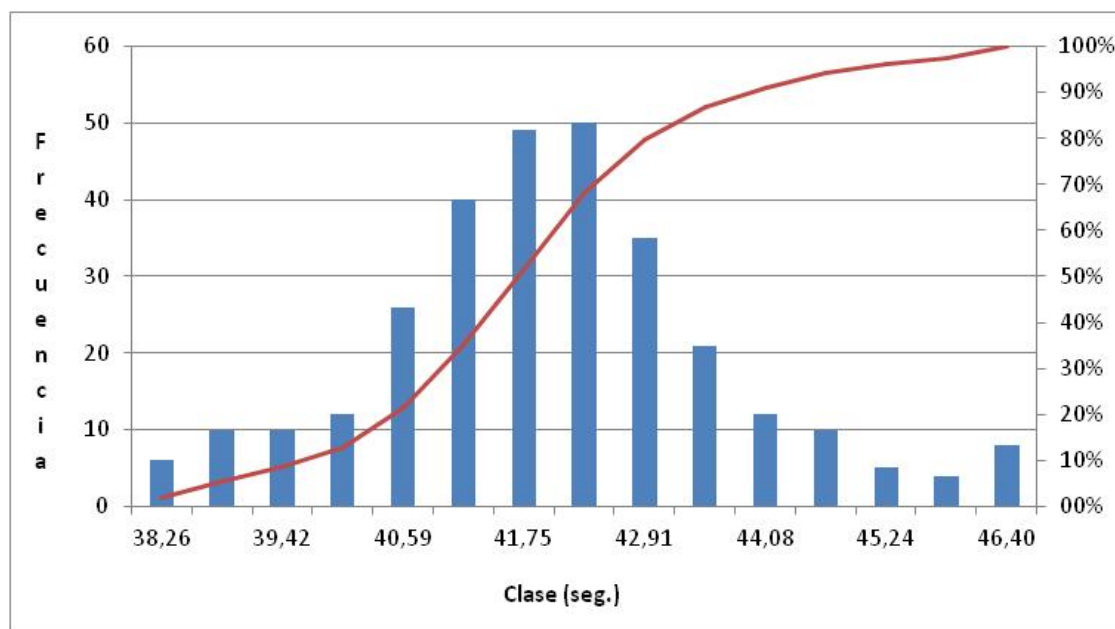


Figura 3.2.2.7. – Histograma de frecuencias del tiempo de rebobinado (TR)

<i>Clase (seg)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Acumulada</i>
38.26	6	2.0%
38.84	10	5.4%
39.42	10	8.7%
40.00	12	12.8%
40.59	26	21.5%
41.17	40	34.9%
41.75	49	51.3%
42.33	50	68.1%
42.91	35	79.9%
43.49	21	86.9%
44.08	12	90.9%
44.66	10	94.3%
45.24	5	96.0%
45.82	4	97.3%
46.40	8	100.0%

Tabla 3.2.2.8. - Tabla de frecuencia acumulada de tiempo rebobinado (TR)

De la figura 3.2.2.7. puede observarse que el histograma se asemeja al de una distribución Normal. Pero esta distribución es incompatible debido a que, naturalmente, un tiempo no puede adoptar valores negativos.

En consecuencia, al igual que anteriormente se utiliza el *Input Analyzer*, la cual es de gran utilidad en estos casos. El programa evalúa esto contrastando el ajuste de las principales distribuciones que se utilizan habitualmente en el campo de la estadística aplicada. Una vez ejecutado el software se obtienen, para la variable distancia, los resultados que se muestran en la figura 3.2.2.9.

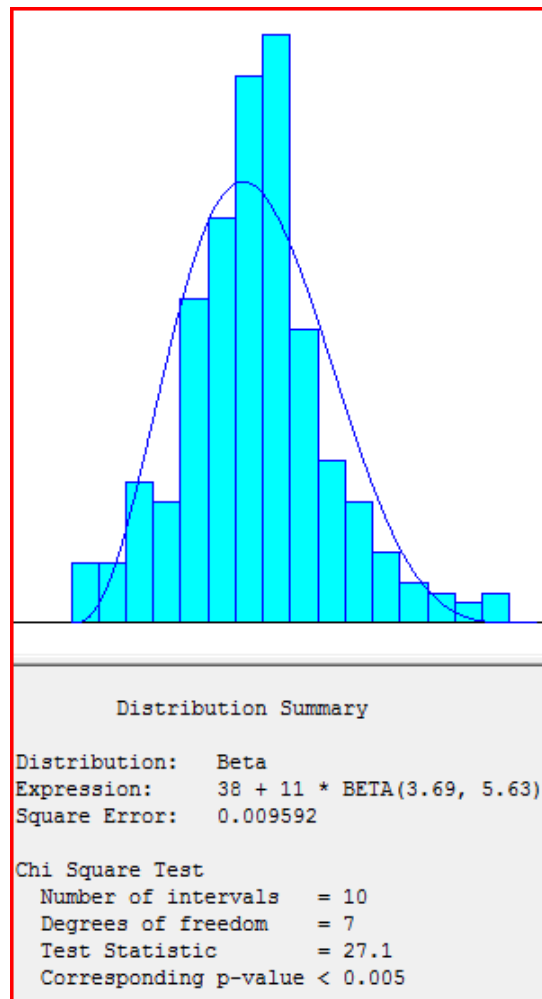


Figura 3.2.2.9. - Distribución ajustada a tiempo rebobinado (TR)

Se observa que la distribución más apropiada es la Beta (figura 3.2.2.10), con un nivel de confianza superior al 99.9% de acuerdo al test Chi-cuadrado. La distribución beta es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros a y b cuya función de densidad para valores $0 < x < 1$ es:

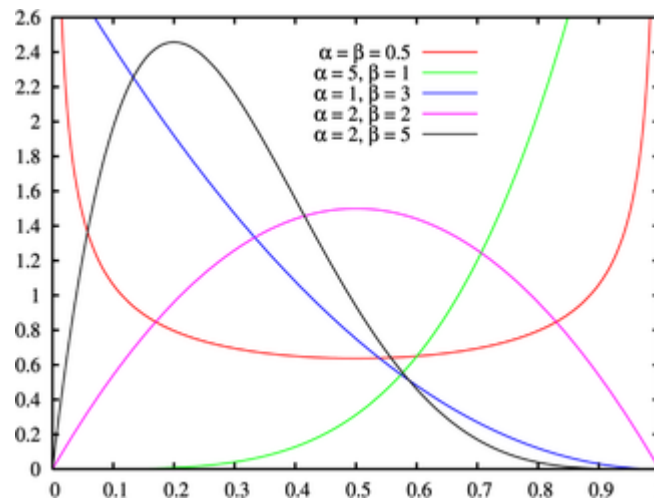


Figura 3.2.2.10. – Distribución Beta

$$TR = 38 + 11 * BETA (3.69 , 5.63)$$

Tiempo de transporte entre la máquina rebobinadora y la máquina de cortado (TTMRC)

A los efectos del presente trabajo, el tiempo de transporte entre maquinas se asumirá como una constante. El mismo es de 2 segundos asumiéndose constante ya que el movimiento de transporte tiene una incidencia mínima en el proceso de acuerdo al estudio realizado y la dispersión en la medición del mismo fue mínima. Ambas maquinas se encuentran próximas y el operario realiza un único movimiento con sus manos para trasladar los rollos desde la maquina rebobinadora a la máquina de cortado.

$$TTMRC = 2 \text{ seg}$$

Tiempo de cortado de log en rollos (TCLR)

El tiempo de cortado de los logs en rollos de papel comercializables es una variable importante en el estudio de tiempo total del proceso. En este proceso el factor humano es preponderante ya que el ritmo y el lapso total de la tarea está dado por la destreza y habilidades del operario.

Con el fin de determinar el comportamiento de esta variable se realizó el muestreo y se obtuvo el histograma de frecuencias de la figura 3.2.2.11 y la tabla 3.2.2.12. de frecuencia acumulada.



Figura 3.2.2.11. - Histograma de frecuencias del tiempo de cortado de logs en rollos (TCLR)

<i>Clase (seg)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Acumulada</i>
14.04	4	3.4%
14.35	4	3.4%
14.67	8	6.9%
14.98	8	6.9%
15.30	20	17.2%
15.61	20	17.2%
15.93	16	13.8%
16.24	4	3.4%
16.56	16	13.8%
16.87	12	10.3%
17.19	4	3.4%

Tabla 3.2.2.12.- Frecuencia acumulada de tiempo de cortado de logs en rollos (TCLR)

De la figura 3.2.2.11. se observa que el patrón a simple vista no se ajusta a una distribución conocida. Por ello se utiliza la herramienta Input Analyzer como se

describió anteriormente para determinar la distribución que mejor ajusta a la muestra.

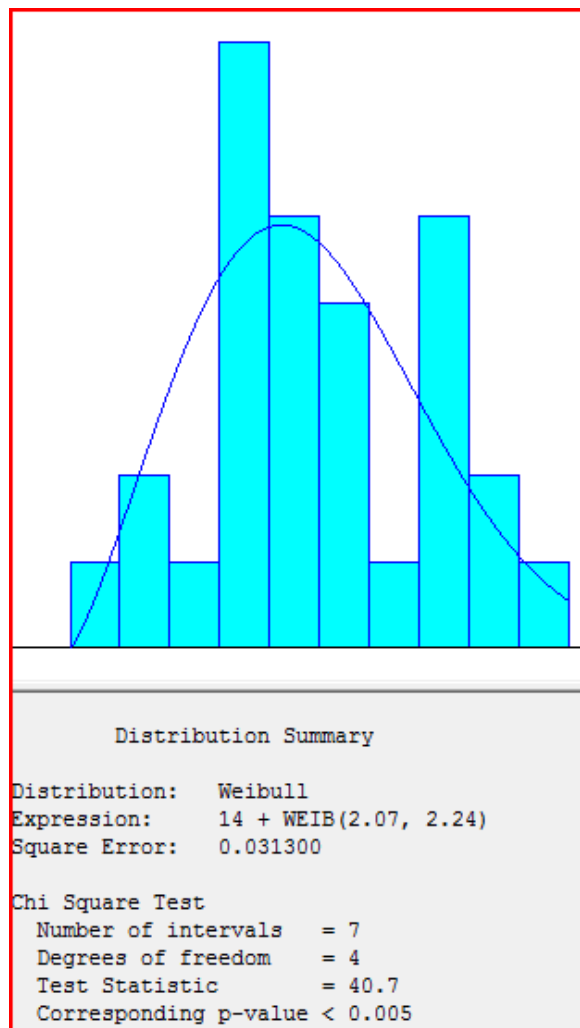


Figura 3.2.2.13. – Distribución ajustada del tiempo de cortado de logs en rollos (TCLR)

Se observa que la distribución más apropiada es la de Weibull (Figura 3.2.2.13.), con un nivel de confianza superior al 99.9% de acuerdo al test Chi-cuadrado.

$$\text{TCLR} = 14 + \text{WEIB}(2.07, 2.24)$$

Tiempo de control de rollos y ajustes (TCYA)

El tiempo que toma el operario en controlar y realizar ajustes sobre los rollos defectuosos se asumirá constante. La justificación de ello es similar al tiempo

insumido en el transporte: la incidencia de este proceso en el tiempo total es mínima y no se justifica realizar un análisis de la distribución del tiempo del mismo.

TCYA = 2 segundos

Tiempo de embolsado de rollos en bolsa (TERB)

El tiempo de embolsado de los rollos en bolsas es una variable importante en el estudio de tiempo total del proceso. En este proceso el factor humano es preponderante ya que, al igual que en el proceso de cortado, el ritmo y el lapso total de la tarea está dado por la destreza y habilidades del/los operario/s.

Con el fin de determinar el comportamiento de esta variable se realizó el muestreo y se obtuvo el histograma de frecuencias de la figura 3.2.2.14.

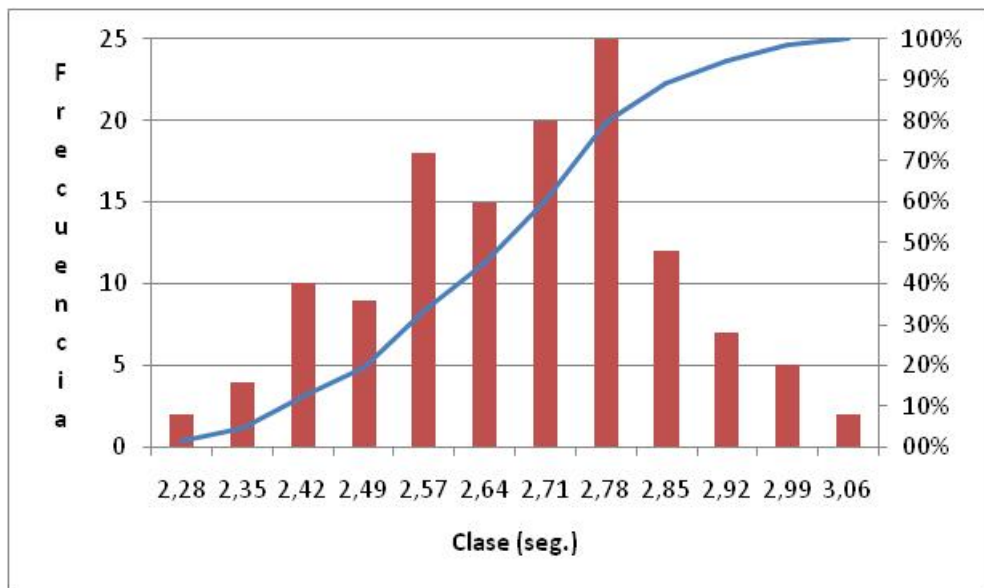


Figure 3.2.2.14. – Histograma de frecuencias del tiempo de embolsado de rollos en bolsas (TERB)

<i>Clase (seg)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Acumulada</i>
2.28	2	1.6%
2.35	4	4.7%
2.42	10	12.4%
2.49	9	19.4%
2.57	18	33.3%
2.64	15	45.0%
2.71	20	60.5%
2.78	25	79.8%
2.85	12	89.1%
2.92	7	94.6%
2.99	5	98.4%
3.06	2	100%

Tabla 3.2.2.15. – Frecuencia acumulada del tiempo de embolsado de rollos en bolsas (TERB)

La forma del histograma obtenido es similar al de la variable tiempo de cortado (TCLR), por lo cual sería de esperar que de la misma manera responda a una distribución de Weibull. Sin embargo, una vez analizados los datos con el Input Analyzer, se obtiene que la distribución más apropiada es la de Weibull, con un nivel de confianza superior al 99,9% (según el test chi-cuadrado). El output del programa se observa en la figura 3.2.2.16.

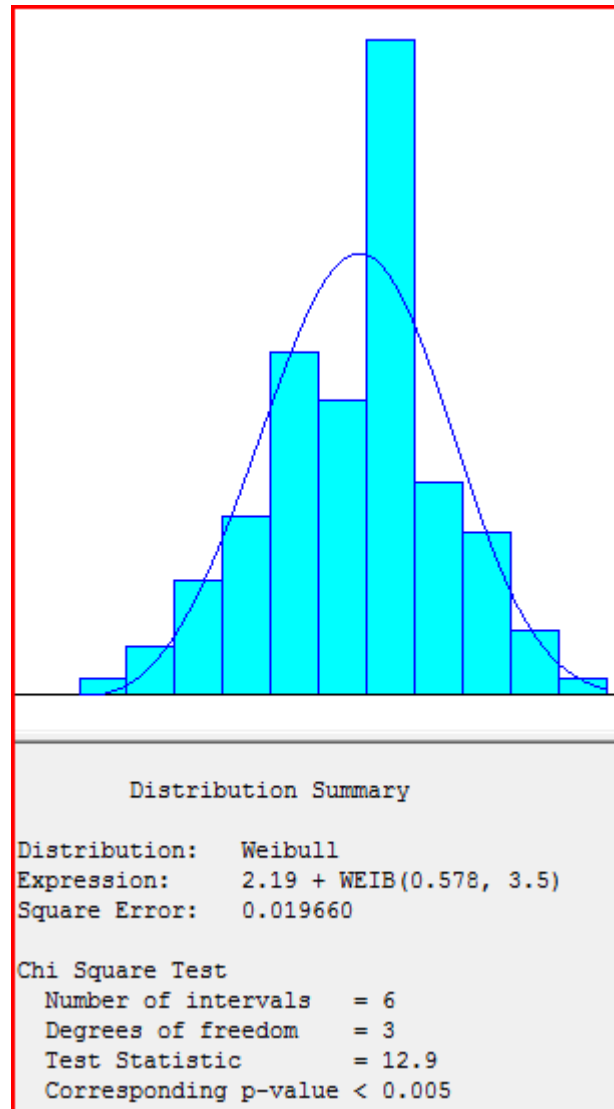


Figura 3.2.2.16. – Distribución ajustada del tiempo de embolsado de rollos en bolsas (TERB)

$$\text{TERB} = 2.19 + \text{WEIB} (0.578, 3.5)$$

Tiempo de transporte entre la sector de embolsado y máquina de termosellado (TTET)

La distribución del tiempo de transporte entre maquinas se asumirá como una constante en el presente trabajo. La justificación es similar a la del transporte entre maquina rebobinadora y cortado; ambas maquinas se encuentran pegadas una al lado de la otra.

$$\text{TTET} = 2 \text{ segundos}$$

Tiempo de termosellado bolsas (TTB)

El tiempo de termosellado de las bolsas es también una variable importante en el estudio de tiempo total del proceso. En este proceso el factor humano es preponderante ya que, al igual que en el proceso de cortado, el ritmo y el lapso total de la tarea está dado por la destreza y habilidades del o los operarios.

Con el fin de determinar el comportamiento de esta variable se realizó el muestreo y se obtuvo el histograma de frecuencias de la figura 3.2.2.17.

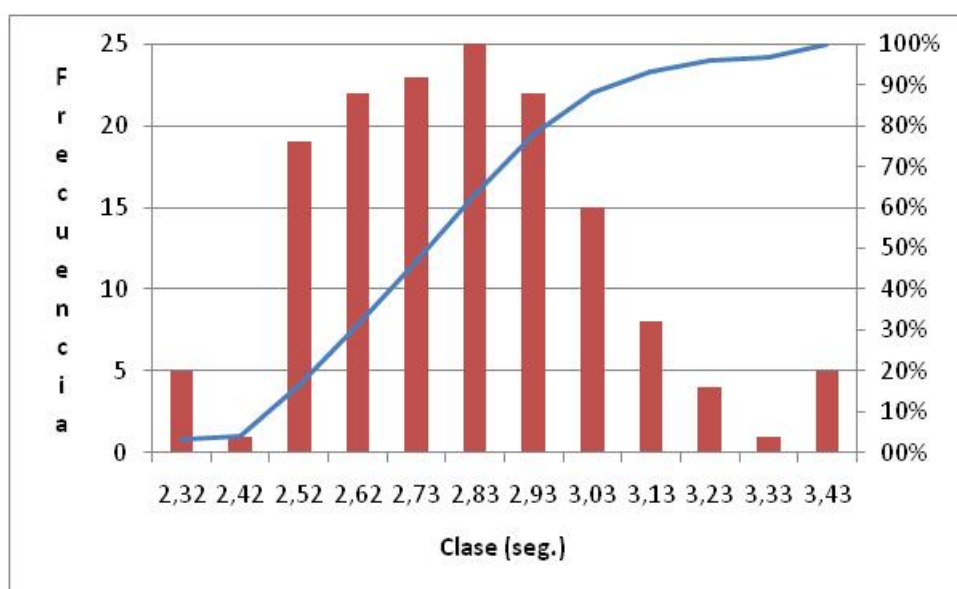


Figura 3.2.2.17. – Histograma de frecuencias del tiempo de termosellado de bolsas (TTB)

<i>Clase (seg)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Acumulada</i>
2.32	5	3.3%
2.42	1	4.0%
2.52	19	16.7%
2.62	22	31.3%
2.73	23	46.7%
2.83	25	63.3%
2.93	22	78.0%
3.03	15	88.0%
3.13	8	93.3%
3.23	4	96.0%
3.33	1	96.7%
3.43	5	100%

Tabla 3.2.2.18. – Frecuencia acumulada del tiempo de termosellado de bolsas (TTB)

La forma del histograma obtenido es similar al de la variable tiempo de cortado (TCLR), por lo cual sería de esperar que de la misma manera responda a una distribución Normal o Weibull. Sin embargo, una vez analizados los datos con el Input Analyzer, se obtiene que la distribución más apropiada es la de Exponencial, con un nivel de confianza superior al 99,9% (según el test chi-cuadrado). El output del programa se observa en la figura 3.2.2.19.

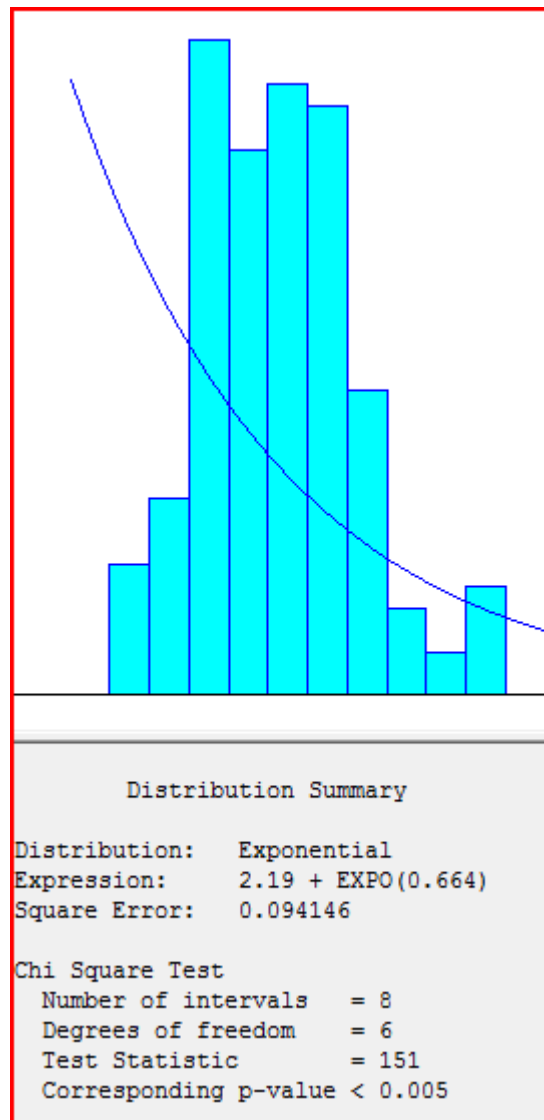


Figura 3.2.2.19. – Distribución ajustada del tiempo de termosellado de bolsas (TTB)

$$TTB = 2.19 + EXPO(0.664)$$

La distribución exponencial es una distribución de probabilidad continua con un parámetro $\lambda > 0$. A modo de ejemplo, la distribución exponencial es la distribución de la longitud de los intervalos de variable continua que transcurren entre la ocurrencia de dos sucesos "raros", que se distribuyen según la distribución de Poisson (figura 3.2.2.20.).

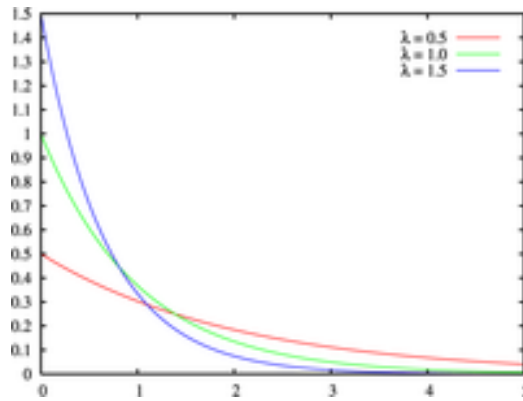


Figura 3.2.2.20. - Función densidad de probabilidad Poisson

Proporción de rechazos y scrap (PRYS)

Para la determinación de la proporción de rechazos y scrap en el proceso se asumirán valores informados por la empresa ya que no fue posible realizar una medición sobre estos parámetros. Para la proporción de rechazos se asume el 1% y en cuanto al scrap, de acuerdo a datos proporcionados por PHL, se encuentra en el orden del 2% del total de la producción de un lote. El scrap está compuesto por papel higiénico proveniente del corte (1.5%) y polietileno (0.5%) provenientes del proceso de termosellado de los bolsones.

$$\text{PRYS} = 2\%$$

Variables de control

Existen diversas áreas de decisión que influyen significativamente en la evolución del sistema y condicionan el modelado del mismo. En función de ello se han identificado variables que controlan dicha evolución:

1. Política de planeamiento de la producción; cantidades a producir según:
 - a. plan de producción/ventas,
 - b. cantidad de mano de obra empleada,
 - c. maquinaria utilizada,
 - d. políticas de inventario
 - e. exigencias de calidad de producto

2. Layout del proceso
3. Capacidad/tiempo de servicio de las máquinas
4. Prioridad por tiempo en sistema versus tiempo admisible en sistema

Límites y contexto

Como se ha mencionado anteriormente el presente estudio de simulación se referirá exclusivamente al proceso productivo, dejando fuera del mismo acciones que se pudieran lograr mediante mejoras en las compras o mayor estandarización y aprovechamiento de las materias primas. Se analizará la evolución del sistema a partir de que se recibe un pedido de producción hasta que el lote producido fue almacenado o despachado.

3.3. - Desarrollo del modelo en ARENA, validación y verificación

Tal como se mencionó anteriormente el estudio objeto del presente trabajo, se realizará sobre un sistema que en la actualidad es inexistente. La modelización del sistema actual servirá de base para plantear y experimentar con otros modelos productivos y escenarios durante el diseño experimental sobre los cuales PHL tiene primordial interés de evaluar para definir el proceso productivo a adoptar con el fin de cumplir con el plan de producción para los próximos cinco años (periodo 2014-2018).

En esta sección se desarrollará la traducción del modelo en lenguaje computacional: se describirá la implementación y configuración del modelo en ARENA y el detalle la lógica de su funcionamiento.

La traducción del sistema actual en un lenguaje informático es una de las etapas más complejas y de mayor dificultad del presente estudio. Incluso con las simplificaciones de la realidad adoptadas, acotar el sistema resultante restringido a los parámetros y limitaciones de la aplicación utilizada, requiere de un profundo proceso analítico para poder contemplar todos los escenarios posibles y que el modelo responda a los mismos de manera coherente y acorde al sistema real.

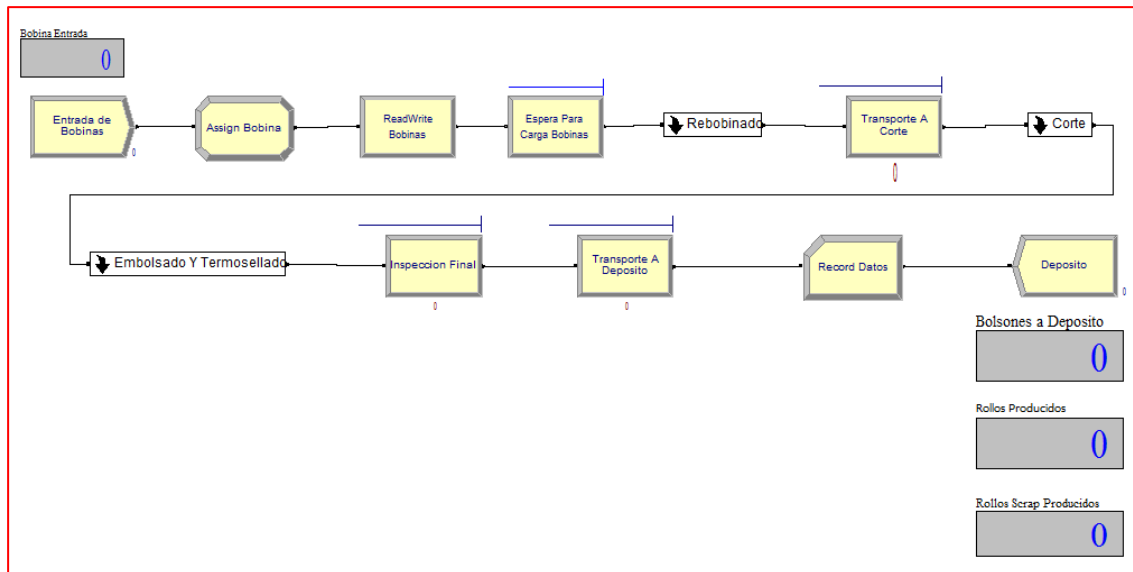


Figura 3.3.1. - Vista general del modelo de simulación en ARENA del proceso productivo actual de PHL

En la figura 3.3.1. se puede observar una vista general del modelo. Se observa que en la traducción del proceso a un modelo resulta simple a la vista y lineal, beneficiando la interpretación y análisis tanto de resultados como de variables y parámetros que rigen el sistema.

Yendo a la descripción detallada del modelo, como se observa en la figura 33, las entidades que rigen el sistema en el comienzo (bobinas) ingresan por el módulo *Create* inicial de manera constante durante el día al comienzo del mismo. Esto es así ya que uno de los supuestos considera una provisión constante e ininterrumpida de materia prima, que de hecho es acorde a la política de PHL ya que a fin de cada día se prepara la materia prima al pie de cada máquina para el día siguiente de producción. Al crearse las entidades, las mismas pasan por un módulo *Assign* donde se le atribuye a cada bobina los siguientes atributos: peso de la bobina (PB), largo de la bobina (LB) y se le define tipo de entidad: Bobina.

El siguiente módulo a recorrer por cada entidad es un *Readwrite* cuyo fin es recolectar información particular sobre cada entidad que ingresa al sistema y volcarla en una planilla de Excel para estudiar la respuesta de las distribuciones utilizadas, en la etapa de verificación y validación. Por lo tanto,

no interviene propiamente en la lógica del modelo modificando el comportamiento de las entidades.

Finalmente en esta primera etapa la entidad atraviesa un módulo *Hold* cuya función es retener las entidades previas a la entrada en el proceso de rebobinado. Este módulo trabaja en conjunto con el proceso de rebobinado (tal como se verá más adelante) liberando únicamente 1 entidad por vez cuando tanto el proceso de setup de la rebobinadora y el proceso de rebobinado se encuentren libres (sin entidades en cola). Las etapas hasta aquí descritas pueden observarse en la figura 3.3.2.

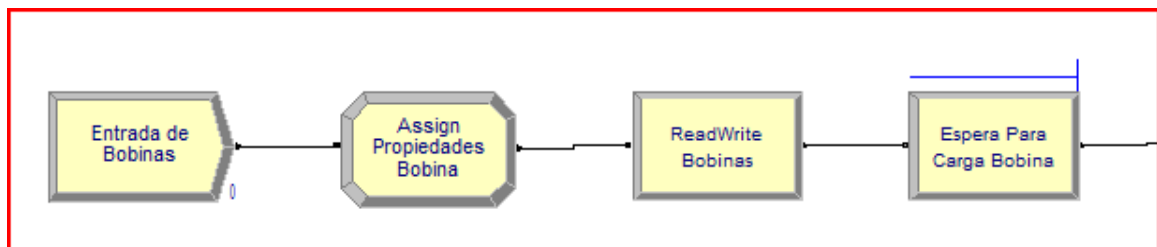


Figura 3.3.2. - Ingreso de entidades al sistema

Una vez que la entidad es liberada por el módulo *Hold*, ingresa en el submodelo de Rebobinado (figura 3.3.3.). El proceso de rebobinado comienza con el setup de la bobina en la máquina rebobinadora mediante un módulo *Process* que utiliza como recursos la zorra manual y un operario. La operación, *Seize, delay, release*, toma la distribución de tiempo definida anteriormente.

Una vez concluido el proceso de rebobinado la entidad pasa por un módulo *Assign* donde se le imprimen los atributos referentes al log ya cargado con papel: peso del log (PL) y largo del log (LL). Posteriormente, mediante un módulo *Separate*, se generarán la cantidad de entidades de acuerdo a la relación entre el peso del log (PL) y el peso de la bobina (PB). De esta forma el modelo realiza un cambio de entidades, mediante otro módulo *Assign*, donde las entidades originales se redefinirán como log cargado con papel dejando atrás su atributo como bobina.

Previo a ingresar al proceso de rebobinado, las entidades pasan por un módulo *Hold* que libera los *logs* cuando la máquina rebobinadora se encuentra

desocupada. El proceso de rebobinado (figura 3.3.3.) utiliza como recursos la maquina rebobinadora y un operario según la distribución de tiempos estudiada anteriormente.

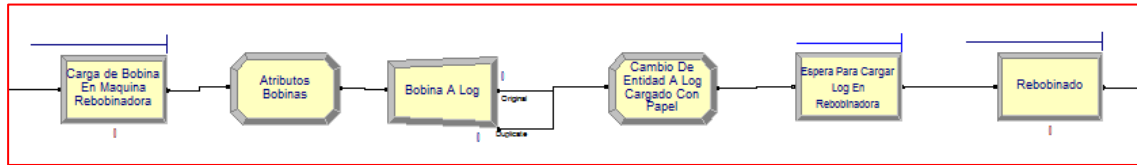


Figura 3.3.3. - Submodelo del proceso de rebobinado

Finalizado el proceso de rebobinado las entidades son transportadas a la sección de corte. Esto se hace mediante un módulo *Process* que emplea como recurso a un operario de acuerdo al tiempo definido.

Una vez transportada, la entidad (log cargado con papel) ingresa al proceso de cortado (ver figura 3.3.4.). En primer lugar las entidades son separadas en función de la cantidad de rollos que se obtienen por log (modulo *Separate*). Mediante un módulo *Assign* se le asigna a la entidad su nueva identidad: rollo. Posteriormente se dirige al proceso de corte donde se utiliza un módulo *Process* empleando a un operario y la sierra sinfín como recurso. A continuación se determina la cantidad de scrap producto del proceso de corte mediante un módulo *Decide* que defina el % de material a reciclar (camino inferior). Por el camino superior siguen las entidades (rollos) que son sometidas a un proceso de control y ajuste (módulo *Process*) y luego mediante un decide se define el % de rollos que necesita reajuste y en caso de ser necesario (camino inferior) otro modulo decide determina si el rollo es ajustable y debe volver a someterse al proceso de ajuste (camino superior) o debe descartarse como scrap (camino inferior).

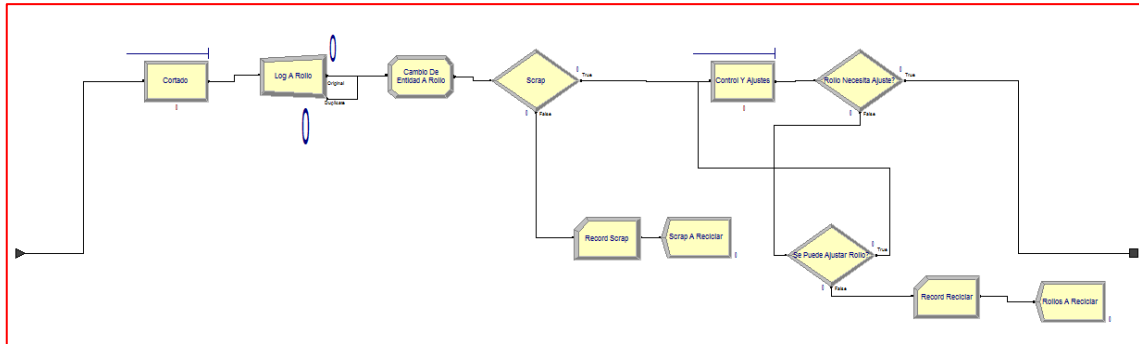


Figura 3.3.4. – Proceso de cortado de logs

Una vez que la entidad abandona la sección de corte se dirige la sección contigua de Embolsado, Etiquetado y Termosellado (figura 3.3.5.). Allí las entidades (rollos) son agrupadas mediante un módulo *Batch* en grupo unidades de acuerdo a la cantidad de rollos por bolsa. Luego atraviesan un módulo *Assign* donde se modifica la entidad a Bolsa y posteriormente se somete a la entidad a un proceso de Embolsado, Etiquetado y Termosellado mediante dos módulos *Process* que emplean un operario cada uno y una distribución de tiempo de acuerdo a la analizada anteriormente.

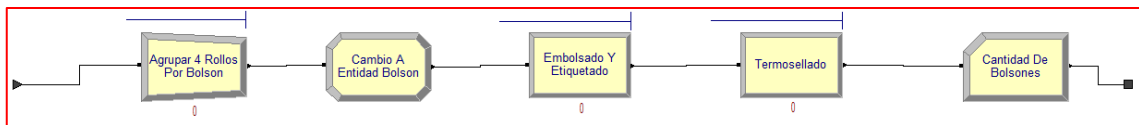


Figura 3.3.5. – Proceso de embolsado, etiquetado y termosellado

Finalmente la entidad deja la sección de Embolsado, etiquetado y termosellado para adentrarse en la parte final del modelo. En la figura 3.3.6. se observa la última sección del proceso donde se le hace una inspección visual final por parte del operario que realiza el termosellado y luego se transporta la bolsa a deposito utilizando un módulo *Process*. Previo a la salida de la entidad del sistema se utiliza un módulo *Readwrite* para calcular ciertos parámetros de las entidades como: tiempo total de un ciclo (tiempo total de procesamiento de una bobina), etc. Finalmente mediante un módulo *Dispose* la entidad resultante abandona el modelo.

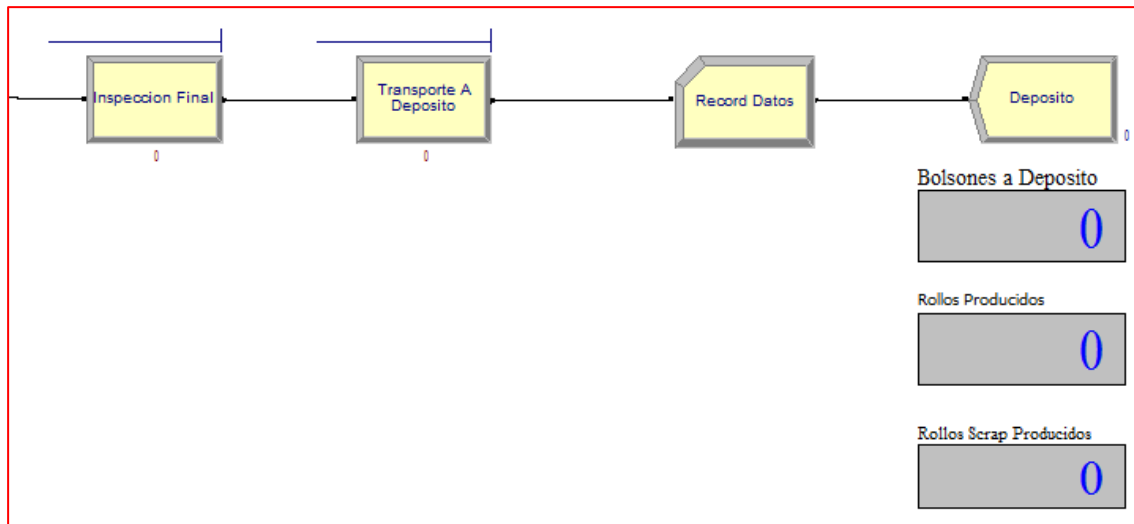


Figura 3.3.6. – Output del sistema actual

NOTA: de acuerdo a lo medido cada bobina rinde 16 logs con 100mts de papel. Se asume que el último log puede recibir más o menos metraje.

Una de las tareas más importantes y difíciles en la simulación es la verificación y validación del modelo. Las salidas del modelo se van a utilizar para obtener conclusiones para el sistema real, por lo que es muy importante que se confíe en el modelo para garantizar que éste va a ser utilizado correctamente.

3.3.1.- Verificación

La verificación se refiere a la construcción correcta de un modelo. Es el proceso mediante el cual se intenta determinar si la lógica operacional del modelo (el modelo computacional) se corresponde con la lógica del diseño. En definitiva se reduce a determinar si hay errores en el programa.

Durante y después de la elaboración del modelo de simulación se han seguido diversas aproximaciones o métodos a fin de verificar su correcto funcionamiento y detectar a tiempo los problemas o errores que se fueran sucediendo. A continuación se describe cada uno de ellos.

Segmentación del modelo

Un error común es el de programar el sistema completo sin realizar ninguna prueba y depuración del modelo. Asimismo mientras más largo y complicado es el modelo menos efectivos serán los intentos por corregir el mismo ya que los esfuerzos no estarán dirigidos a la corrección de los problemas de programación fundamentales.

Mediante la segmentación del modelo, se parte al mismo en sistemas más pequeños y simples (submodelos como los utilizados), que son más fáciles de estudiar e interpretar. Una vez que se comprueba el correcto funcionamiento de cada una de las partes, se debe proceder a evaluar el modelo en su totalidad.

El sistema en estudio se dividió en subámbitos que significan 3 partes fundamentales del proceso: la generación de bobinas y su respectiva asignación de atributos y el procesamiento de cada bobina en el rebobinado; el procesamiento de logs mediante el proceso de cortado y la consolidación de los rollos en bolsones junto con recolección de la información output del modelo para su posterior estudio. Cada una de las fases mencionadas se encaró como un sistema independiente y se fueron desarrollando a partir de una modelación inicial simple, incrementando su nivel de detalle y complejidad paulatinamente.

Animación del modelo

La animación es quizá la herramienta más efectiva a la hora de realizar una verificación básica. Poder visualizar lo que el programa está haciendo hace que sea más fácil la detección de errores. Por otro lado, es una gran herramienta a la hora de estudiar el modelo mediante su corrida evento por evento, método que permite observar y depurar el modelo bajo circunstancias controladas.

El Arena provee de varios complementos que permiten hacer este tipo de seguimiento. Un ejemplo son los pequeños bloques que representan a las entidades: corriendo el modelo a una velocidad razonable, puede observarse detalladamente el camino que siguen las distintas entidades, los módulos que atraviesan, su acumulación en las colas, etc.

Otros elementos gráficos del Arena que fueron utilizados son los contadores, y gráficos de utilización de recursos. Estos permitieron conocer en tiempo real los valores de distintas variables de forma cuantitativa, cualitativa y evolutiva.

3.3.2. - Validación

La etapa de validación consiste en corroborar que el modelo construido sea el correcto, o sea que capture las características deseadas del sistema real. Es el proceso de determinar si el modelo, como abstracción, es una buena representación del sistema bajo estudio. Una correcta validación se obtiene cuando se validan tres puntos clave del modelo: supuestos, valores de los parámetros de entrada y las distribuciones y valores de salida y conclusiones.

Existen tres posibles fuentes para llevar a cabo la validación: intuición de expertos, mediciones en el sistema real y resultados teóricos. En este caso se utilizará la metodología de comparación entre el sistema real y el modelo. Para ello es posible utilizar técnicas y metodologías como el validación de fases, transformación de inputs-outputs, supuesto de modelo, test de turing, entre otras, que se basan en la comparación del modelo con el sistema real. A continuación se detallan los rubros que han sido utilizados como base de comparación entre el modelo y el sistema real en el presente estudio de simulación.

Validación de valores de los parámetros de entrada y distribuciones

El estudio de los datos de entrada al sistema es de vital importancia para una correcta validación. Como se observó todas las distribuciones utilizadas superaron el test de bondad de ajuste chi-cuadrado y sus histogramas son un fiel reflejo de los equivalentes obtenidos a partir de las muestras recogidas en el sistema real.

Validación de valores de salida

En este caso mediante la utilización de un modelo analítico en Excel seleccionando datos y parámetros medidos sobre el sistema real, se pudo realizar una correcta validación del proceso productivo obteniendo resultados muy similares al obtenido utilizando el modelo de simulación. Dada la linealidad que mantiene el sistema fue posible definir un modelo analítico que permitió realizar la validación final del modelo de simulación.

En primer lugar se realizó la validación del output del modelo sobre el principal objetivo del modelo: determinar la cantidad de rollos producidos por lote. Esta variable es de fácil estudio ya que se cuenta con datos fehacientes del sistema real que PHL lleva en su proceso de gestión. En función de los parámetros de entrada del sistema del real se obtuvo como resultado de corridas del modelo valores muy similares a los que PHL efectivamente produce.

Una vez que se validó que el output del modelo se procedió a utilizar la metodología de validación de fases que consiste a estudiar cómo se comporta el modelo ante cambios en los parámetros. Modificando parámetros como el peso de la bobina y el porcentaje de scrap se estudió la salida del modelo que, como se mencionó anteriormente, se comporta de manera lineal. Se constató mediante la experimentación con ambos parámetros mencionados que el modelo se comporta de acuerdo a lo esperado: aumentando/disminuyendo la cantidad de materia prima a la entrada del sistema se incrementa/reduce la cantidad de producto terminado y aumentando/disminuyendo la proporción de scrap se reduce/incrementa la salida.

Siguiendo con el proceso de validación de outputs otro estudio que se realizó para asegurar la integridad del modelo consistió en la analizar la independencia entre ciertas variables que rigen el mismo. En este caso se estudió la relación entre los tiempos de producción de las distintas etapas del proceso y la salida del modelo. Luego de experimentar modificando los tiempos de producción de todas las etapas involucradas se constató, luego de varias corridas, que el output del sistema se mantuvo sin modificaciones, lo cual sirve como herramienta adicional para validar el modelo.

Por lo expuesto hasta aquí, el buen desempeño del programa y la adecuación de los resultados obtenidos con respecto a la realidad, se puede concluir que el modelo posee precisión y credibilidad, siendo de esta manera apto para utilizarse en el estudio y obtener conclusiones sobre el sistema real.

3.3.3. - Diseño experimental y cálculo de cantidad de corridas

Una vez finalizada la verificación y validado el modelo la siguiente etapa del estudio es la determinación de la distintas alternativas de diseños experimentales que posteriormente servirán para realizar el análisis de dichas alternativas. Los diseños experimentales a plantear están vinculados a los objetivos del estudio, los cuales fueron descritos en la etapa de formulación del problema.

Durante la etapa de diseño experimental se analizan y evalúan las variables que impactan en el desempeño del sistema. Estas variables son controlables en la medida que el modelador pueda variar sus niveles en el modelo de simulación y, de ser posible, en el sistema real. En el presente estudio, las principales variables a considerar son:

1. Diseño del proceso de rebobinado
2. Diseño del proceso de cortado de *logs* en rollos
3. Diseño del proceso de termosellado de bolsas y bolsones
4. Cantidad de recursos productivos afectados a los procesos:
 - o Cantidad de mano de obra empleada
 - o Afectación de la mano de obra por cada etapa productiva
 - o Cantidad y duración de turnos productivos

Estas variables tienen un impacto directo en la producción que PHL será capaz de alcanzar (con el objetivo de cumplir el plan de ventas) y en los costos e inversiones, siendo el impacto de las mismas determinante para que la empresa puede efectuar un correcto planeamiento de la nueva línea de producción.

Luego de haber estudiado el modelo conceptual desarrollado en la etapa inicial, se observa a priori que los principales cuellos de botella del proceso se encuentran en el proceso de rebobinado y en el proceso de corte, donde el porcentaje de utilización es de aproximadamente del 99% en ambos casos. Es en estos procesos donde el presente trabajo se enfocará con el fin de encontrar un modelo más eficiente que optimice el proceso productivo de rollos institucionales.

Para ello, considerando lo arriba expuesto, se desarrollarán dos modelos como alternativas posibles de producción de rollos de papel institucional considerando, como principal variable, variaciones en el proceso de rebobinado y corte. A continuación se explicará cada uno de los modelos con su alcance y características principales para posteriormente analizar las salidas de ambos y poder determinar cuál es el proceso óptimo para cumplimentar los objetivos que PHL desea alcanzar. Para las simulaciones se ha decidido utilizar corridas cuya duración total sea de un año. Este periodo es lo suficientemente largo como para poder obtener una salida de resultados lo suficientemente sólida (desde el punto de vista estadístico), manteniendo tiempos de ejecución del software razonables.

Es importante aclarar que en el presente estudio se han desarrollado únicamente dos alternativas ya que en el mercado argentino se encuentran solamente dos tipos de tecnologías distintas para el rebobinado y corte de papel.

3.3.3.1 - Modelo A – Modelo empleando el sistema productivo actual

Proceso productivo similar al actual para rollos menores a 100mts (la actual línea de producción).

Como primer alternativa de diseño se propone un proceso productivo similar a la línea actual (que actualmente es para rollos menores a 100mts). La única modificación respecto al proceso actual es la máquina rebobinadora, la cual

mantendrá las mismas características pero deberá estar dimensionada para rebobinar rollos de 300mts.

Esta alternativa tiene como beneficio que es un modelo productivo con el que PHL se encuentra familiarizado y posee el “know how” tanto para la operación como el mantenimiento del sistema. El hecho de copiar el diseño del proceso actual significa no tener que implementar innovaciones que impliquen un esfuerzo de cambio de procesos con todo lo que esto conlleva: periodos de adaptación a los nuevos procesos, capacitación del personal, desarrollo de nuevos proveedores, posibles problemas de “startup” de las instalaciones, entre otros.

Las características productivas de la maquina rebobinadora del Modelo A son según la tabla 3.3.3.1.1.

MODELO A - Características de la rebobinadora según fabricante	
Largo de bobina máximo	2200 mm
Velocidad nominal	75 m/min
Velocidad máxima	150 m/min
Eficiencia a velocidad nominal	98.5%
Diámetro rollo mín/máx	40/1200 mm
Scrap	1.5%
Potencia	8 HP
Costo	U\$S 30.000

Tabla 3.3.3.1.1. – Características de la rebobinadora del modelo A

Los recursos a utilizar en este modelo son los siguientes:

- I. Mano de obra: se utilizará la misma cantidad de personal que en el proceso actual.
 - 3 operarios: 1 para rebobinadora, 1 para cortadora y 1 para embolsado, termosellado y almacenaje.

II. Máquinas y equipamiento:

- Zorra manual para setup de bobina en rebobinadora
- rebobinadora
- sierra cortadora
- termoselladora
- autoelevador para transporte de pallets a depósito

Consideraciones del modelo (variables y parámetros):

Este modelo utilizará las variables y parámetros descritos en la sección 3.2.2 del presente estudio a excepción de las siguientes variables las cuales serán redeterminadas en función de las características del proceso en estudio.

Peso log cargado con papel (PLCP / 300 mts): el valor se determinó mediante una extrapolación del peso del log con 100mts de papel y se comparó con el peso del log vacío sumado al peso específico de papel por m². A los efectos del presente estudio este valor se asumirá como una constante.

$$\text{PLCP} = 13.3 \text{ kg/log}$$

Tiempo de rebobinado (TR): Dado que no es posible realizar mediciones sobre una máquina rebobinadora con capacidad de 300mts, para la determinación del tiempo de rebobinado se realizó un estudio con la máquina rebobinadora actual (con logs de 100mts de papel) donde la variable fue la velocidad de rebobinado. Se experimentó con velocidades de 75 mts/min, 100 mts/min (velocidad nominal de la rebobinadora según el fabricante) y 150 mts/min para obtener el tiempo total de rebobinado de una bobina y el % de eficiencia del proceso (medido como el tiempo perdido por parada de maquina como consecuencia de corte del papel durante el rebobinado). A continuación en la tabla 3.3.3.1.2 se muestra el resultado de la experimentación:

Velocidad [mts/min]	Eficiencia de rebobinado	Tiempo [min/bobina]	Tiempo [min/log]
75 (vel nominal)	97,7%	21,8	1,36
100	95,2%	16,8	1,05
150	74,7%	13,4	0,84

Tabla 3.3.3.1.2. – Velocidades rebobinadora modelo actual

Según el resultado obtenido de la experimentación se observa que las mediciones obtenidas son similares a las características de la maquina informadas por el fabricante. Asimismo se observa que la velocidad optima de la maquina es de 100 mts/min ya que se logra disminuir en un 23% el tiempo de rebobinado a expensas de un 2.5% de eficiencia comparando contra parámetros a velocidad nominal (75 mts/min). Por otro lado si se eligiera una velocidad de 150 mts/min se reduciría un 38% el tiempo de rebobinado pero la eficiencia del proceso se vería reducida en un 24% lo que significaría grandes pérdidas de producción de logs.

Para determinar la velocidad y tiempo de rebobinado para los rollos institucionales, el cual será utilizado en el presente estudio, se extrapolaron los resultados obtenidos en el estudio anterior. Se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la tabla 3.3.3.1.3.:

Velocidad [mts/min]	Eficiencia de rebobinado	Tiempo [min/bobina]	Tiempo [min/log]
75 (vel nominal)	97,7%	65,5	4,09
100	95,2%	50,4	3,15
150	74,7%	42,8	2,68

Tabla 3.3.3.1.3. – Velocidades de experimentación rebobinadora modelo A

Como resultado del análisis, en el presente modelo se utilizará un tiempo constante de rebobinado de 3.15 min/log.

$$\text{TR} = 3.15 \text{ min/log}$$

El modelo propuesto no difiere en mucho del proceso tomado como base para el presente estudio (proceso actual de producción de rollos de 100mts) y el mismo puede visualizarse de acuerdo a la siguiente figura 3.3.3.1.4.:

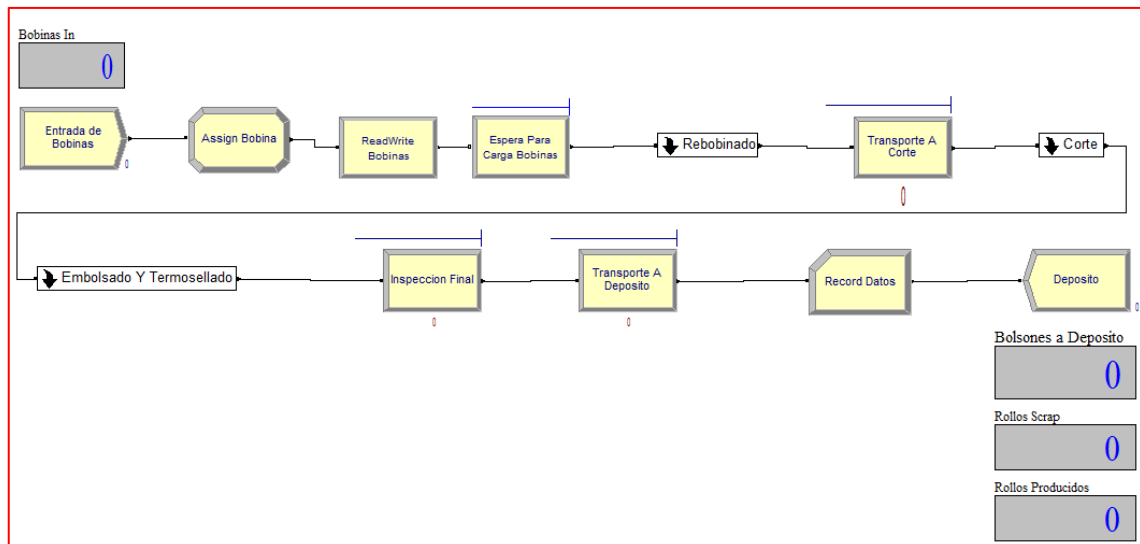


Figura 3.3.3.1.4. – Modelo de simulación en ARENA del Modelo A

3.3.3.2.- Modelo B – Modelo empleando máquina rebobinadora de distintas características

La segunda alternativa a evaluar contempla la utilización de una máquina rebobinadora de distintas características técnicas a la que PHL emplea actualmente.

Actualmente hay dos tipos de máquinas ofrecidas en el mercado: una con las características de la que PHL utiliza en la actualidad y otra, más moderna, que incorpora nuevas tecnologías con prestaciones y características distintas.

La rebobinadora utilizada actualmente por PHL no se corresponde con la última tecnología disponible en el mercado para este tipo de industrias. Las nuevas máquinas disponibles en el mercado permiten realizar automáticamente tareas que con la máquina actual que tiene instalada PHL se deben realizar de forma manual.

Las dos principales diferencias que presentan las máquinas de última generación son:

- El corte del log en rollos individuales es realizado automáticamente en la misma máquina rebobinadora. Este proceso con la máquina del modelo A se debe realizar en dos etapas: primer rebobinar el log y luego cortarlo manualmente. Por lo tanto permite eliminar el proceso de cortado y la afectación de un recurso para ello.
- El tamaño de bobina admitida por la maquina es de la mitad de longitud de las bobinas utilizadas actualmente por PHL (1.2mts vs. 2.2mts)

Las características de la rebobinadora propuesta para el modelo B es de acuerdo a la tabla 3.3.3.2.1.

MODELO B - Características de la rebobinadora según fabricante	
Largo máximo de bobina	1200 mm
Velocidad nominal	150 m/min
Velocidad máxima	200 m/min
Diámetro rollo mín/máx	40/1200 mm
Eficiencia a velocidad nominal	95%
Scrap	2.5%
Potencia	10 HP
Costo	U\$S 58.000

Tabla 3.3.3.2.1. – Características de la rebobinadora del modelo B

Tanto la eficiencia de la maquina (95% a velocidad nominal) como el porcentaje de scrap (5%) son menores comparado con los valores de la rebobinadora del modelo A. Esto se debe principalmente al proceso de corte del papel durante el rebobinado.

Para trabajar con esta rebobinadora se presenta una diferencia con respecto a la línea de higiénicos en el tamaño de las bobinas, las cuales serán la mitad de

tamaño de las que se trabajan hoy. Esto tiene la ventaja de una mayor maniobrabilidad, y menor riesgo para el operario ya que las bobinas tendrán un peso de 110-130kgs y ancho de 1.2 metros y no 250–300 kgs y de 2.2 metros (dependiendo del gramaje del papel a utilizar) como en la línea de higiénicos.



Figura 3.3.3.2.2. - Máquina rebobinadora modelo B

La mano de obra requerida para operar las distintas máquinas es la misma; no existen diferencias respecto de la dificultad de operación de los equipos. Tampoco se presenta diversidad respecto de la materia prima a utilizar. Por último, la disponibilidad de repuestos es muy buena ya que la misma es de fabricación local.

Mano de obra: en la primera corrida del modelo se utilizará la misma cantidad de personal que en el proceso actual para poder efectuar una comparativa en cuanto a la eficiencia de utilización de recursos.

- 3 operarios: 1 para rebobinadora, 1 para cortadora y 1 para embolsado, termosellado y almacenaje.

Máquinas:

- Zorra manual para setup de bobina en rebobinadora y transporte de bolsones
- rebobinadora

- termoselladora
- autoelevador para transporte de pallets a depósito

Consideraciones del modelo (variables y parámetros):

Este modelo utilizará las variables y parámetros descritos en la sección 3.2.2. del presente estudio a excepción de las siguientes variables las cuales serán redeterminadas en función de las características del proceso en estudio:

Largo de bobina (LB): considerando las características de la maquina rebobinadora el largo de la bobina se asumirá en 1.2 mts constante (a diferencia de los 2.2mts. utilizados por PHL en la actualidad).

$$LB = 1.2 \text{ mts.}$$

Peso de la Bobina (PB): considerando las características y de acuerdo a información brindada por el proveedor de bobinas, el peso de las bobinas de longitud 1.2mts está en el rango de 110kg a 130kg. Para representar este rango se utilizará una distribución triangular (110, 120, 130).

$$PB = \text{TRIA (110, 120, 130)}$$

Peso log cargado con papel (PLCP - 300mts): este valor se determinó mediante una extrapolación del peso del log con 100mts de papel. Se asumirá este valor como constante.

$$PLCP = 7.25 \text{ kg/log}$$

Tiempo de rebobinado (TR): considerando el resultado obtenido del modelo A, dado que este es un proceso desconocido sobre el cual no es posible realizar mediciones, se tomará la velocidad nominal informada por el fabricante como el valor de velocidad a utilizar en el modelo.

Velocidad (mts/min)	Eficiencia	Tiempo min/bobina	Tiempo min/log
100	97,0%	49,5	3,09
150	95,0%	33,7	2,11
200	90,0%	26,7	1,67

Tabla 3.3.3.2.3. - Velocidades de rebobinado modelo B.

Como resultado del análisis de acuerdo a lo indicado en la tabla 3.3.3.2.3., en el presente modelo se utilizará un tiempo constante de rebobinado de 2.11 min/log.

$$TR = 2.11 \text{ min/log}$$

El modelo propuesto difiere sustancialmente en 2 puntos respecto del proceso actual: proceso de rebobinado y proceso de corte. Para la construcción del modelo de simulación se utilizó como base el modelo actual al cual se le hicieron todas las modificaciones para asimilar el proceso con el modelo propuesto. La visualización del modelo en ARENA es según la siguiente figura 3.3.3.2.4.:

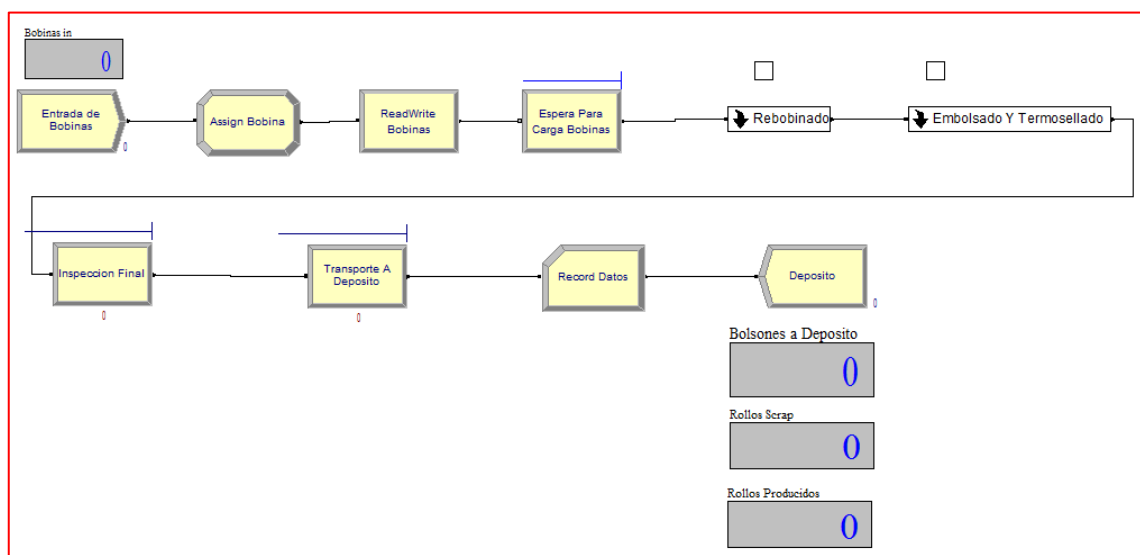


Figura 3.3.3.2.4. – Vista del Modelo B en ARENA

La primera diferencia respecto a modelo actual se observa en el proceso de rebobinado, el cual el modelo B propuesto simplifica en un solo proceso el rebobinado y corte. La modelización del proceso de rebobinado es según la siguiente figura 3.3.3.2.5.:

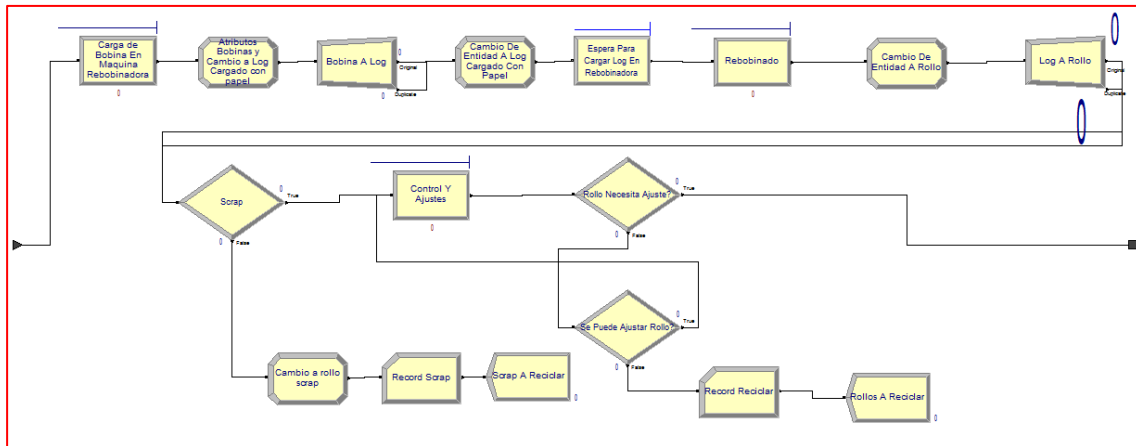


Figura 3.3.3.2.5. - Modelización del proceso de rebobinado del Modelo B

El proceso de rebobinado contiene así el procesamiento de la bobina otorgando como resultado final el rollo individual cortado listo para ser embolsado.

3.4. - Determinación de cantidad de corridas

La determinación del número de corridas que deben realizarse permite establecer la cantidad de mediciones independientes necesarias para que los resultados de la simulación sean válidos para poder establecer estimaciones valederas en términos estadísticos.

El cálculo se realiza a partir de los indicadores resultantes del modelo. El procedimiento para la determinación del número de corridas según la figura 3.4.1.:

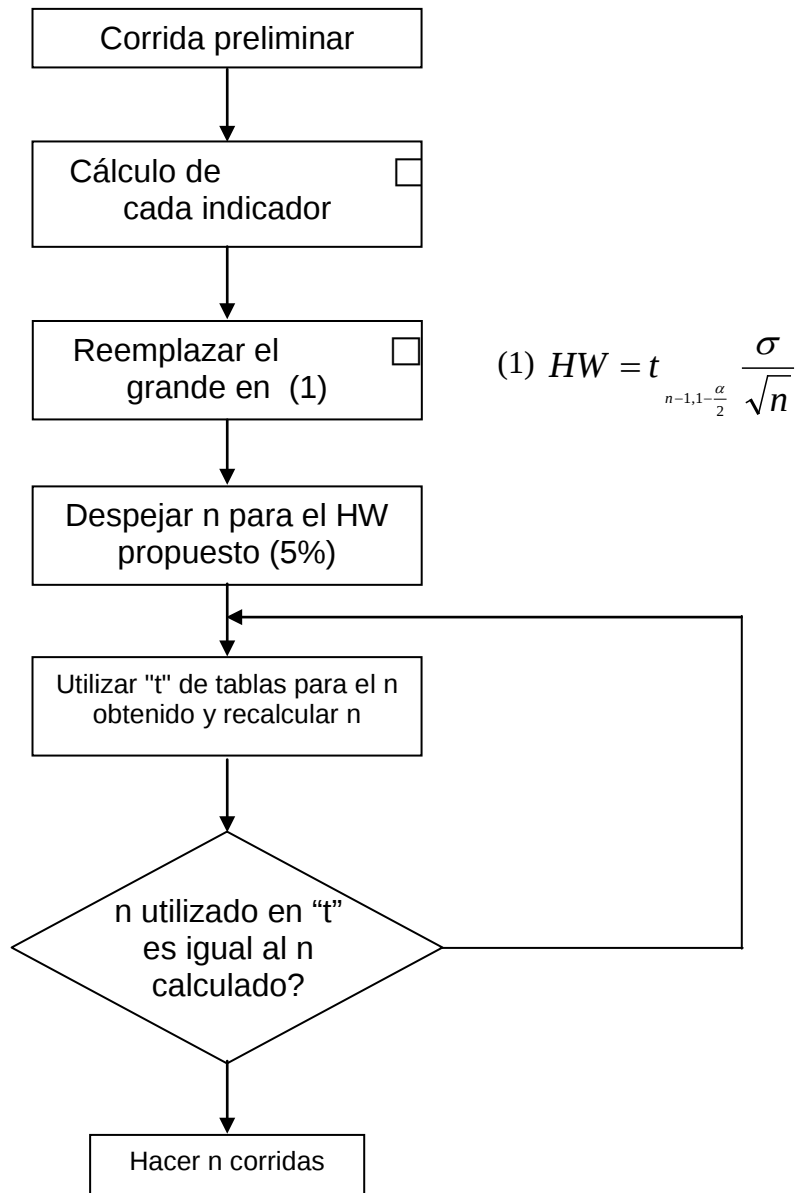


Figura 3.4.1. - Calculo de cantidad de corridas

Para este modelo se fijó un intervalo de confianza del 1% (HW) para cada indicador, pretendiéndose asegurar que el valor de cada indicador caiga dentro de dicho intervalo con un nivel de significación del 99% (α). En una primera instancia se realizó una corrida preliminar de 10 corridas. Se obtuvieron los valores de media μ y desvío σ para cada indicador según la tabla 3.4.2.

Modelo	Categoria	Promedio	Desvio	N	HW Deseado	HW Obtenido	OK
Actual	Cantidad de Bolsones	597614	204,5	250	5976,1	25,35	SI
	Rollos scrap	53157	666,5	250	531,6	82,62	SI
	% Utilizacion Rebobinadora	0,8384	0,002	250	0,0084	0,0002	SI
	% Utilizacion Sierra	0,2648	0,005	250	0,0026	0,0006	SI
	% Utilizacion Termoselladora	0,2468	0,0003	250	0,0025	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario1	1,0000	0,000	250	0,0100	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario2	0,9998	0,000	250	0,0100	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario3	0,7404	0,007	250	0,0074	0,0009	SI
A	Cantidad de Bolsones	173484	320,5	250	1734,8	39,73	SI
	Rollos scrap	14160	335,0	250	141,6	41,53	SI
	% Utilizacion Rebobinadora	0,7927	0,001	250	0,0079	0,0002	SI
	% Utilizacion Sierra	0,0664	0,000	250	0,0007	0,0000	SI
	% Utilizacion Termoselladora	0,0674	0,0002	250	0,0007	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario1	0,9996	0,000	250	0,0100	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario2	0,2817	0,000	250	0,0028	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario3	0,2778	0,001	250	0,0028	0,0002	SI
B	Cantidad de Bolsones	110253	257,5	250	1102,5	31,92	SI
	Rollos scrap	11310	348,0	250	113,1	43,14	SI
	% Utilizacion Rebobinadora	0,6501	0,001	250	0,0065	0,0002	SI
	% Utilizacion Termoselladora	0,0428	0,0001	250	0,0004	0,0000	SI
	% Utilizacion Operario1	0,6501	0,001	250	0,0065	0,0002	SI
	% Utilizacion Operario2	0,4334	0,001	250	0,0043	0,0002	SI
	% Utilizacion Operario3	0,1054	0,000	250	0,0011	0,0000	SI

Tabla 3.4.2. – Resultados obtenidos por cada modelo para 250 corridas

Con los resultados obtenidos se determina que realizar 250 corridas de los modelos es estadísticamente representativo.

3.5. - Procesamiento y análisis de resultados

A partir de las corridas realizadas se obtuvieron distintos resultados para cada modelo. Los resultados obtenidos se utilizarán para parametrizar la operación de ambos procesos productivos planteados y para posteriormente analizar la factibilidad de los mismos, en función de volumen de producción y costos, con la finalidad de seleccionar el modelo óptimo para PHL.

Los datos básicos que se incluyen para ambos modelos son:

- Cantidad anual de bolsones producidos
- Cantidad anual de rollos scrap a reciclar
- Cantidad de bobinas utilizadas

- Cantidad de logs producidos y rebobinados
- % de utilización de máquinas y equipos (rebobinadora, cortadora, termoselladora, zorra manual)
- % de utilización de mano de obra

Las corridas se realizaron con una duración de 240 días (cronograma de trabajo de lunes a viernes) y con una jornada de 8.5 horas diarias según la operatoria actual de PHL durante un año.

3.5.1. - Resultados de los Modelos A y B.

La tabla 3.5.1.1. muestra los resultados obtenidos luego de realizar la simulación de los modelos planteados.

	MODELO A	MODELO B
Produccion Annual		
Bolsones producidos	173.484	110.252
Rollos total producidos	708.446	452.543
Rollos scrap producidos	14.160	11.310
Recursos utilizados		
<i>Materia Prima</i>		
Bobinas utilizadas	1.393	2.357
Logs de papel procesados	30.802	37.712
<i>Maquinaria (% Utilizacion)</i>		
Rebobinadora	79%	65%
Sierra	7%	N/A
Termoselladora	7%	4%
<i>Empleados (% Utilizacion)</i>		
Operario1	100%	65%
Operario2	28%	43%
Operario3	28%	11%

Tabla 3.5.1.1. - Resultados Modelo A y B

Del análisis de los resultados obtenidos se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Producción: el modelo A muestra una producción de bolsones de un 57% superior al modelo B. Considerando la proyección anual de ventas obtenida del

resultado de estudio de mercado, ambos modelos cumplen con el pronóstico de ventas: el modelo A satisface holgadamente esta proyección mientras que el modelo B permite cumplir con dichos objetivos en los primeros 3 años del proyecto. Mejoras productivas deben ser introducidas en este modelo para poder alcanzar los objetivos del cuarto y quinto año.

Scrap: ambos modelos demostraron niveles similares de % de scrap que se encuentra entre 2% y 2.5% sobre el total de rollos producidos lo cual es aceptable para PHL.

Materia Prima: la utilización de bobinas es función de la cantidad de rollos producidos para ambos modelos.

Maquinaria: en ambos modelos se observa una utilización en un rango del 65%-80% para la rebobinadora, siendo esta máquina donde se pueden encontrar oportunidades de mejora. El modelo B muestra un menor porcentaje de utilización que el modelo A.

Operarios: tanto el modelo A como el B demuestran que el principal cuello de botella se genera en el operario1 que está encargado principalmente en el proceso de rebobinado. El modelo A demuestra que un 100% de utilización del operario1 puede ser resultado de la correcta asignación de tareas; sin embargo es posible redistribuir tareas con el operario 2 para lograr una carga más equitativa de trabajo.

En cuanto al modelo B se observa que el porcentaje de utilización del operario1 es más bajo que el modelo A. En ambos modelos el operario 2 y 3 demuestran bajos niveles de ocupación.

Será de objeto de estudio la utilización los operarios y maquinarias para introducir mejoras que optimicen la eficiencia de los recursos empleados en el proceso productivo. Con el objeto de estudiar la sensibilidad del modelo a modificaciones y realizar análisis para incrementar la eficiencia productiva, se realizaron corridas de ambos modelos modificando la cantidad de recursos

humanos y la configuración de la rebobinadora. A continuación se detallan las variaciones analizadas en ambos modelos:

- a. Eliminación del operario 3 del proceso productivo asignándole las tareas al operario 2.
- b. Ídem a. e incrementando en 50% la velocidad de rebobinado.

Los resultados obtenidos se detallan en el análisis a continuación realizado.

3.5.1.1.- Modelo A – Comparación de alternativas al modelo

	MODELO A - Original	MODELO A - a. 2 operarios	MODELO A - b. 2 operarios + 50% rebobinado		
Produccion Annual					
Bolsones producidos	173484	173356	0%	196908	13,5%
Rollos total producidos	708446	707985	0%	804218	13,5%
Rollos scrap producidos	14160	14235	0,5%	16175	14,2%
Recursos utilizados					
Materia Prima					
Bobinas utilizadas	1393	1396	0%	1580	13,4%
Logs de papel procesados	30802	30783	0%	34966	13,5%
Maquinaria (% Utilizacion)					
Rebobinadora	79%	79%	0%	77%	-3,4%
Sierra	7%	7%	0%	8%	13,4%
Termoselladora	7%	7%	0%	8%	13,4%
Empleados (% Utilizacion)					
Operario1	100%	100%	0%	100%	0%
Operario2	28%	58%	105,6%	66%	132,9%
Operario3	28%	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 3.5.1.1.1. - Comparación resultados de alternativas propuestas al modelo A

Del análisis de las corridas (Figura 3.5.1.1.1.) se observa que el efecto producido por las modificaciones introducidas en ambas alternativas genera beneficios en el proceso. En el caso de la alternativa a. la eliminación del operario 3 del proceso permite que el operario 2 incremente en un 105% su % de utilización (de 28% a 58%) permitiendo así mejorar la utilización de los recursos. Para la alternativa b. los beneficios obtenidos al eliminar el operario 3 e incrementar en un 50% la velocidad de rebobinados de la maquina rebobinadora se centran en el aumento de la producción en un 13.5% (23,000

bolsones adicionales al año) y mejora de un 133% en la utilización del operario 2 (de 28% a 66%). Como contrapartida se observa que el total de scrap producido se incrementa un 14.2% al aumentar la velocidad de rebobinado y hacer que la eficacia de la rebobinadora disminuya.

3.5.1.2. – Modelo B - Comparación de alternativas al modelo

	MODELO B - Original	MODELO B - a. 2 operarios	MODELO B - b. 2 operarios + 50% rebobinado		
Produccion Annual					
Bolsones producidos	110252	110366	0%	126984	15,2%
Rollos total producidos	452543	452880	0%	521028	15,1%
Rollos scrap producidos	11310	11184	-1,1%	12840	13,5%
Recursos utilizados					
Materia Prima					
Bobinas utilizadas	2357	2358	0%	2714	15,1%
Logs de papel procesados	37712	37740	0%	43419	15,1%
Maquinaria (% Utilizacion)					
Rebobinadora	65%	65%	0%	60%	-8,3%
Sierra	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Termoselladora	4%	4%	0%	5%	15,2%
Empleados (% Utilizacion)					
Operario1	65%	65%	0%	100%	53,7%
Operario2	43%	54%	24,1%	62%	43,3%
Operario3	11%	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 3.5.1.2.1. - Comparación resultados de alternativas propuestas al modelo B

Similar a lo ocurrido en el modelo A, del análisis de las corridas (figura 3.5.1.2.1.) se observa que el efecto producido por las modificaciones introducidas en ambas alternativas genera beneficios en el proceso. En el caso de la alternativa a. la eliminación del operario 3 del proceso permite que el operario 2 incremente en un 24,1% su % de utilización (de 43% a 54%) permitiendo así mejorar la utilización de los recursos sin tener pérdidas en la producción de bolsones.

Para la alternativa b. los beneficios obtenidos se centran en el aumento de la producción en un 15.2% (16,700 bolsones adicionales al año) y mejora de un 43.3% en la utilización del operario 2 (de 43% a 62%) lo que también repercute en la utilización del operario 1 que se incrementa al 100%. Como contrapartida

se observa que el total de scrap producido se incrementa un 13.5% al aumentar la velocidad de rebobinado y hacer que la eficacia de la rebobinadora disminuya. También se observa que la utilización de la maquina rebobinadora baja un 8% (al incrementar la velocidad y procesar más rápido las bobinas) mientras que la utilización de la termoselladora se incrementa en 15.2%.

3.6. - Resumen de alternativas analizadas

A modo de resumen y con el fin de dimensionar la potencialidad de cada uno de los modelos planteados para cumplir con el plan de ventas establecido por PHL, a continuación en las figuras 3.5.1. y 3.5.2. se detallan los resultados obtenidos con las diversas alternativas estudiadas.

Año	Ventas rollo institucion al PHL (kgs)	Ventas rollo institucion al PHL (bolsones)	Market Share PHL (%)	Ventas Totales PHL (Kgs)	MODELO A			MODELO B		
					Original (bolsones)	2 operarios (bolsones)	2 operarios + 50% reboninadora (bolsones)	Original (bolsones)	2 operarios (bolsones)	2 operarios + 50% reboninadora (bolsones)
2014	160.000	66.667	0.38	438.786	173.484	173.356	196.908	110.252	110.366	113.827
2015	200.000	83.333	0.42	485.802	173.484	173.356	196.908	110.252	110.366	113.827
2016	240.000	100.000	0.45	533.042	173.484	173.356	196.908	110.252	110.366	113.827
2017	276.000	115.000	0.49	581.138	173.484	173.356	196.908	110.252	110.366	113.827
2018	317.400	132.250	0.52	632.150	173.484	173.356	196.908	110.252	110.366	113.827
TOTAL		497.250		2.670.918	867.420	866.780	984.540	551.260	551.830	569.135
	TOTAL SOBRE PROYECCION DE VENTAS INSTITUCIONAL				74%	74%	98%	11%	11%	14%

Figura 3.5.1. - Resumen de resultados modelo A y B.

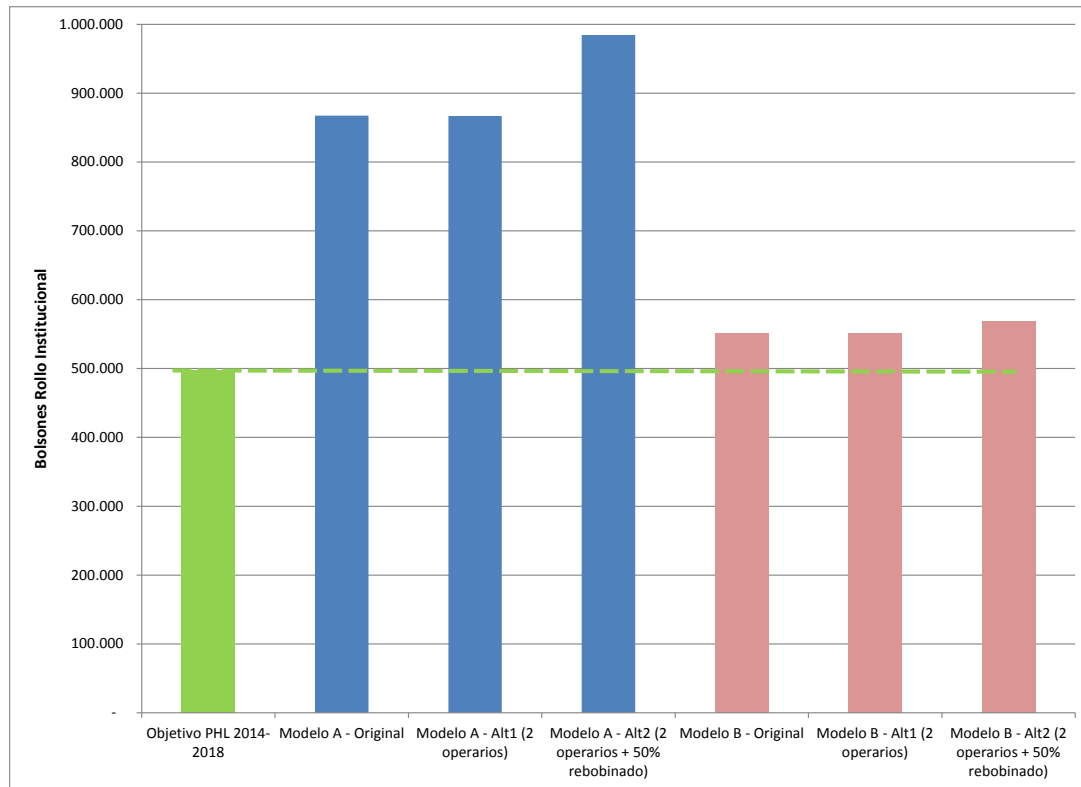


Figura 3.5.2. - Resumen de resultados modelo A y B.

Se observa que ambos modelos sirven en cumplir con el objetivo de ventas totales previsto para los próximos cinco años, pero el modelo B no permite cumplir con las demandas en los años cuatro y cinco del estudio. Asimismo en el caso del modelo A se observa que la potencial producción anual supera en hasta un 98% el objetivo quinquenal de ventas.

Con el fin de buscar el balance productivo óptimo y no generar sobreproducción, se desarrollaron corridas de los modelos poniendo como objetivo producir la cantidad estrictamente necesaria para cumplir con el plan de ventas. A continuación en la figura 3.5.3. se detallan los resultados obtenidos para un año de producción:

	MODELO A - Original	MODELO A - a. 2 operarios	MODELO A - b. 2 operarios + 50%		MODELO B - Original	MODELO B - a. 2 operarios		MODELO B - b. 2 operarios +		
Produccion Annual										
Bolsones producidos	99536	99536	0%	99643	0,1%	99474	99387	0%	99397	-0,1%
Rollos total producidos	406456	406456	0%	406916	0,1%	408273	407938	0%	407982	-0,1%
Rollos scrap producidos	8110	8110	0,0%	8143	0,4%	10172	10189	0,2%	10193	0,2%
Recursos utilizados										
Materia Prima										
Bobinas utilizadas	800	800	0%	800	0,0%	2125	2125	0%	2125	0,0%
Logs de papel procesados	17672	17672	0%	17692	0,1%	34022	33994	0%	33998	-0,1%
Maquinaria (% Utilizacion)										
Rebobinadora	45%	45%	0%	39%	-14,8%	59%	59%	0%	47%	-20,4%
Sierra	4%	4%	0%	4%	0,3%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Termoselladora	4%	4%	0%	4%	0,0%	4%	4%	1,6%	4%	1,3%
Empleados (% Utilizacion)										
Operario1	57%	57%	0%	51%	-11,8%	59%	90%	53,7%	78%	33,3%
Operario2	16%	33%	105,8%	33%	105,7%	39%	49%	24,4%	49%	24,3%
Operario3	17%	N/A	N/A	N/A	N/A	10%	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 3.5.3. - Resumen de resultados alternativas analizadas

Del análisis de los resultados obtenidos se puede observar que las diferencias entre las alternativas estudiadas se centran en la eficiencia de utilización de los recursos humanos. Para el modelo A la producción deseada se alcanzaría aproximadamente a los 138 días (sobre un total de 240 días productivos anuales) representando un 57% del tiempo total disponible, por lo que es posible contratar los recursos por una menor cantidad de tiempo para cumplir con el objetivo. En el caso del modelo B, la producción objetivo se alcanza a los 216 días, necesitándose así un 90% del tiempo total disponible anualmente.

Como conclusión del análisis realizado se demuestra que es factible la reducción de un operario de la línea de producción (alternativas a y b de cada modelo), disminuir la cantidad de días de producción anual para cumplir con el objetivo de ventas e incrementar la velocidad de rebobinado. Esto último debe hacerse tomando los recaudos que entregue el fabricante de la maquina ya que se incrementa notablemente la probabilidad de que haya algún desperfecto durante esta etapa del proceso. En la siguiente etapa del presente estudio se analizaran los costos de cada alternativa.

CAPITULO IV – ANÁLISIS ECONOMICO

La conclusión final del estudio sobre que alternativa resulta más conveniente para PHL, se desprenderá del análisis realizado sobre los resultados obtenidos a partir de la simulación y predecir el resultado económico del proyecto a lo largo de su vida útil y encontrar el punto de equilibrio para programa de producción y la proyección de ventas definida en el estudio de mercado

El objetivo de este análisis no es el de desarrollar la evaluación de un proyecto de inversión, debido a que no es el enfoque de interés propuesto para este estudio por la empresa. Por estas razones, la información y tratamiento de las variables económicas se presentara desde el punto de vista operativo, a nivel E.B.I.T. (beneficios antes de intereses e impuestos). Con este método se incluirán las amortizaciones, con el fin de cuantificar el peso económico de las distintas alternativas

Como se mencionara anteriormente, la comparación de las alternativas se realizara en base a los costos de setup de ambos modelos y a los valores productivos anuales, correspondiente a los costos totales involucrados en la producción. Las evaluaciones se desarrollan a continuación.

Para ello, primeramente se detallarán las inversiones requeridas en Activos Fijos, se estudiará también el nivel de inversión necesaria en Activo de Trabajo para poder determinar monto total a invertir para el desarrollo de la actividad. Luego se procede al análisis de costos para cada uno de los centros: producción y comercialización, que permitirán obtener el costo total de lo vendido. Con todo esto, se estará en condiciones de calcular el costo total para cada ejercicio durante la vida del proyecto que, restándolos a los ingresos proyectados, darán el Resultado Operativo.

4.1. - Inversiones Iniciales

4.1.1. - Activo Fijo

Determinación de las inversiones necesarias para adquirir la estructura destinada a la producción industrial. Esta información permitirá determinar la estructura de costos del proyecto a través de las amortizaciones.

Estas inversiones pueden diferenciarse en dos rubros: Bienes de Uso y Destinos o Inversiones Asimilables. Estas inversiones incluyen lo estipulado en la tabla 4.1.1.1.

Bienes de Uso
Instalaciones Industriales
Máquinas y Equipos
Equipos Auxiliares

Figura 4.1.1.1. - Activos fijos

La inversión total inicial en bienes de uso para cada uno de los modelos es según las tablas 4.1.1.2. y 4.1.1.3.:

MODELO A	Maquinas y Equipos	
Máquina Rebobinadora	USD	30.000
Máquina Sierra Sin Fin	USD	6.000
Máquina Termoselladora	USD	1.000
Zorra Manual	USD	500
TOTAL MODELO A	USD	37.500

Tabla 4.1.1.2 - Inversión en bienes de uso modelo A

MODELO B	Maquinas y Equipos	
Máquina Rebobinadora	USD	58.000
Máquina Termoselladora	USD	1.000
Zorra Manual	USD	500
TOTAL MODELO B	USD	59.500

Tabla 4.1.1.3. - Inversión en bienes de uso modelo B

Amortizaciones: incluye los gastos de amortización correspondientes exclusivamente al sector productivo, así como los prorrateados que

corresponden a este sector. Las maquinas se amortizarán a 10 años con un valor residual de 0%.

4.2. - Gastos de producción

A continuación se analizan todos los gastos en que se incurrirá a lo largo del proyecto, Por otro lado se analiza la variabilidad de los gastos a fin de determinar el total de gastos variables y fijos.

4.2.1. - Mano de Obra

El gasto laboral estará compuesto por la mano de obra directa, es decir de los operarios del proceso. En lo que respecta a los salarios correspondientes a la mano de obra directa, los mismos están compuestos por un salario básico, asignaciones adicionales y bonificaciones, de acuerdo a la carga horaria trabajada por cada operario. Todos estos valores son calculados a partir de los datos proporcionados por la Federación de Obreros y Empleados de la Industria del Papel, Cartón y Químicos de la República Argentina.

La clasificación para los distintos puestos involucrados en el proyecto, con su salario correspondiente es según la tabla 4.2.1.1.:

Personal de Producción	Oficial Maquinista de Rebobinadora	Operario Calificado
Categoría	5	2
Salario Básico (\$/hora)	\$18,14	\$16,80

Tabla 4.2.1.1. - Salarios según personal de producción

En base a estas consideraciones, se calcularon los costos laborales para cada año del proyecto:

Personal	Maquinista Cat. 5	Operario Cat. 2
Remuneracion Basica	ARS 37.006	ARS 34.272
Cargas Sociales	ARS 6.291	ARS 5.826
Aguinaldos	ARS 3.083	ARS 2.855
Viaticos	ARS 816	ARS 816
Ropa de trabajo	ARS 150	ARS 150
Vacaciones	ARS 771	ARS 714
TOTAL Costo Anual	ARS 48.116	ARS 44.633

Tabla 4.2.1.2. – Costo laboral anual por personal de producción

4.2.2. - Materia Prima

El aseguramiento en la provisión de la materia prima es fundamental para cumplir con los objetivos de ventas propuestos por PHL. Convenios con los proveedores son esenciales para garantizar la provisión y tener un mayor control de los costos, especialmente en ambientes inflacionarios como el que está atravesando la economía Argentina.

Los precios acordados con los proveedores hasta fin de 2013 son de acuerdo a la tabla 4.2.2.1.:

MATERIA PRIMA	COSTO UNITARIO	UNIDAD
Bobina Papel	ARS 6,70	kg
Bolson Polietileno	ARS 0,61	bolson
Tubo Carton	ARS 1,63	mt
Etiqueta	ARS 0,10	unidad

Tabla 4.2.2.1. - Precios de materia prima

4.2.3. - Gastos Generales de Fabricación

Para obtener los gastos generales de fabricación se obtuvieron los gastos operativos del sector productivo. Para cada uno de los siguientes rubros se consideraron por separado los costos fijos de los variables:

Energía: incluye el porcentaje prorrateado de consumo de energía correspondiente al sector productivo. El costo total de energía está formado por

un costo fijo (\$/Kw.mes) y uno variable (\$/KWh) que depende del consumo, los cuales fueron relevados de la página del Ente Nacional Regulador de Electricidad.

Para determinar el consumo de cada máquina se tomó la potencia de las mismas a partir de valores de catálogo, y se las multiplicó por la cantidad de horas de trabajo reales proyectadas. La potencia necesaria y el costo total mensual por modelo se detallan en la tabla 4.2.3.1.:

MAQUINA	COSTO UNITARIO		UNIDAD
Rebobinadora MODELO A	ARS	6,00	KW
Rebobinadora MODELO B	ARS	7,50	KW
Termoselladora	ARS	0,10	KW
Cargo Variable Electricidad	ARS	0,37	\$/KWh
Cargo Fijo Electricidad	ARS	15,76	\$/Kw.mes
Costo Total MODELO A	ARS	447	\$/mes
Costo Total MODELO B	ARS	558	\$/mes

Figura 4.2.3.1 – Potencia Requerida y costo total de energía

Seguros: las máquinas se aseguran contra robo e incendio, al igual que los bienes de cambio cuyo costo es de un 1% sobre el valor total asegurado, mientras que para el personal se contrata un seguro a través de una ART representando un 5% sobre el costo total por persona.

Mantenimiento: incluye el porcentaje prorrateado de los gastos de mantenimiento de las máquinas. El primero tiene en cuenta los arreglos propios de un inmueble (humedad, pintura, plomería, etc.), mientras que el segundo corresponde casi en su totalidad al recambio de aceite de las máquinas. El valor de cada mantenimiento mensual es de 800 \$/mes máquina.

Costos indirectos: asociados a gastos generales de estructura de PHL como limpieza, administrativos, servicios varios, entre otros. Estos costos se estiman en un 5% sobre el costo total de los gastos generales de fabricación.

4.3 - Costo total de los modelos propuestos

Para obtener el costo total de cada modelo se deben considerar el costo de las inversiones y los costos de producción que se obtiene sumando los costos de mano de obra directo, materia prima y gastos generales de fabricación. A continuación se detallan los costos asociados a los dos modelos propuestos en el presente estudio.

4.3.1 - Costo total del Modelo A

El costo total del modelo A, con las distintas alternativas analizadas se resume en la tabla 4.3.1.1.

	MODELO A					
	Original		Alt a. 2 operarios		Alt b. 2 operarios + 50% reboninadora	
Costos asociados a la inversion inicial						
Amortizacion de activos fijos	ARS	19.500	ARS	19.500	ARS	19.500
Costos asociados a los gastos de produccion						
Mano de obra directa	ARS	137.382	ARS	92.749	ARS	92.749
Materia Prima - bobinas	ARS	2.745.211	ARS	2.751.123	ARS	3.113.736
Materia Prima - bolson polietileno	ARS	105.717	ARS	105.639	ARS	119.991
Materia Prima - tubo carton	ARS	110.117	ARS	110.049	ARS	125.003
Materia Prima - etiqueta	ARS	17.619	ARS	17.606	ARS	19.998
Energia	ARS	5.358	ARS	5.358	ARS	5.358
Seguros	ARS	38.606	ARS	36.432	ARS	40.375
Mantenimiento	ARS	9.600	ARS	9.600	ARS	9.600
Costos Indirectos	ARS	2.678	ARS	2.570	ARS	2.767
COSTO TOTAL	ARS	3.191.789	ARS	3.150.627	ARS	3.549.077
TOTAL BOLSONES PRODUCIDOS		173.484		173.356		196.908
COSTO TOTAL POR BOLSON	ARS	18,4	ARS	18,2	ARS	18,0

Tabla 4.3.1.1. - Costo total del modelo A por alternativa

Los resultados obtenidos en el cuadro arriba no consideran como limitante el objetivo anual de ventas proyectado por PHL. La tabla 4.3.1.2. resume el costo total considerando una producción igual a la proyectada según el estudio de mercado:

	MODELO A					
	Original		Alt a. 2 operarios		Alt b. 2 operarios + 50% reboninadora	
Costos asociados a la inversion inicial						
Amortizacion de activos fijos	ARS	19.500	ARS	19.500	ARS	19.500
Costos asociados a los gastos de produccion						
Mano de obra directa	ARS	78.308	ARS	52.867	ARS	52.867
Materia Prima - bobinas	ARS	1.576.575	ARS	1.576.575	ARS	1.576.575
Materia Prima - bolson polietileno	ARS	60.655	ARS	60.655	ARS	60.655
Materia Prima - tubo carton	ARS	63.177	ARS	63.177	ARS	63.177
Materia Prima - etiqueta	ARS	10.109	ARS	10.109	ARS	10.109
Energia	ARS	2.437	ARS	2.437	ARS	2.076
Seguros	ARS	22.971	ARS	21.699	ARS	21.699
Mantenimiento	ARS	9.600	ARS	9.600	ARS	9.600
Costos Indirectos	ARS	1.750	ARS	1.687	ARS	1.669
COSTO TOTAL	ARS	1.845.082	ARS	1.818.306	ARS	1.817.926
TOTAL BOLSONES PRODUCIDOS		99.536		99.536		99.643
COSTO TOTAL POR BOLSON	ARS	18,5	ARS	18,3	ARS	18,2

Tabla 4.3.1.2. – Costo total de alternativas del Modelo A considerando la producción objetivo de PHL para el periodo 2014-2018

En ambos casos se observa que no hay diferencias en el costo total de producción para las alternativas planteadas si se analiza el mismo por costo unitario de producción. La alternativa más favorable desde el punto de vista técnico y económico resulta la alternativa a, donde se logra la reducción de un operario respecto al modelo original productivo de PHL y además no se incurre en incrementar la velocidad de la rebobinadora.

4.3.2. - Costo total del Modelo B

Al igual que el Modelo A, el costo total de las distintas alternativas estudiadas del Modelo B sin considerar como limitante productivo la proyección de ventas es de acuerdo a la tabla 4.3.2.1.

	MODELO B					
	Original		Alt a. 2 operarios		Alt b. 2 operarios + 50% reboninadora	
Costos asociados a la inversion inicial						
Amortizacion de activos fijos	ARS	30.940	ARS	30.940	ARS	30.940
Costos asociados a los gastos de produccion						
Mano de obra directa	ARS	137.382	ARS	92.749	ARS	92.749
Materia Prima - bobinas	ARS	1.895.912	ARS	1.896.716	ARS	2.183.074
Materia Prima - bolson polietileno	ARS	67.185	ARS	67.254	ARS	77.381
Materia Prima - tubo carton	ARS	73.538	ARS	73.593	ARS	84.667
Materia Prima - etiqueta	ARS	11.197	ARS	11.209	ARS	12.897
Energia	ARS	6.693	ARS	6.693	ARS	6.693
Seguros	ARS	30.441	ARS	28.219	ARS	31.312
Mantenimiento	ARS	9.600	ARS	9.600	ARS	9.600
Costos Indirectos	ARS	2.337	ARS	2.226	ARS	2.380
COSTO TOTAL	ARS	2.265.226	ARS	2.219.200	ARS	2.531.693
TOTAL BOLSONES PRODUCIDOS		110.252		110.366		126.984
COSTO TOTAL POR BOLSON	ARS	20,5	ARS	20,1	ARS	19,9

Tabla 4.3.2.1. - Costo total de las alternativas del modelo B

Considerando una producción igual a la proyectada según el estudio de mercado, la tabla 4.3.2.2. resume el costo total de las alternativas del modelo B:

	MODELO B					
	Original		Alt a. 2 operarios		Alt b. 2 operarios + 50% reboninadora	
Costos asociados a la inversion inicial						
Amortizacion de activos fijos	ARS	30.940	ARS	30.940	ARS	30.940
Costos asociados a los gastos de produccion						
Mano de obra directa	ARS	123.644	ARS	83.474	ARS	83.474
Materia Prima - bobinas	ARS	1.709.297	ARS	1.709.297	ARS	1.709.297
Materia Prima - bolson polietileno	ARS	60.655	ARS	60.655	ARS	60.655
Materia Prima - tubo carton	ARS	66.343	ARS	66.343	ARS	66.343
Materia Prima - etiqueta	ARS	10.109	ARS	10.109	ARS	10.109
Energia	ARS	3.926	ARS	3.922	ARS	3.123
Seguros	ARS	27.740	ARS	25.732	ARS	25.732
Mantenimiento	ARS	9.600	ARS	9.600	ARS	9.600
Costos Indirectos	ARS	2.063	ARS	1.963	ARS	1.923
COSTO TOTAL	ARS	2.044.317	ARS	2.002.035	ARS	2.001.195
TOTAL BOLSONES PRODUCIDOS		99.474		99.387		99.397
COSTO TOTAL POR BOLSON	ARS	20,6	ARS	20,1	ARS	20,1

Figure 1Tabla 4.3.3.2. - Costo total de alternativas del Modelo B considerando la producción objetivo de PHL para el periodo 2014-2018

En ambos casos se observa que no hay diferencias en el costo total de producción para las alternativas planteadas si se analiza el mismo por costo unitario de producción. Al igual que el Modelo A, la alternativa más favorable desde el punto de vista técnico y económico resulta la alternativa a, donde se logra la reducción de un operario respecto al modelo original productivo de PHL y además no se incurre en incrementar la velocidad de la rebobinadora. Sin embargo dicha alternativa no permite alcanzar la producción necesaria en los años cuatro y cinco como se vio anteriormente.

CAPITULO V – CONCLUSION Y RECOMENDACIONES DEL AUTOR

Finalizado el estudio en detalle los resultados de las simulaciones, productivos y la composición de los costos asociados a cada modelo, para cada alternativa, queda en evidencia que lo más adecuado para PHL sería implementar la alternativa a. del Modelo A: implementar el modelo productivo con maquina rebobinadora (capaz de procesar bobinas de 2.2 mts de largo) en serie con una sierra sin fin para el cortado manual de logs en rollos y una máquina de termosellado avocando 2 operarios al proceso productivo (reduciendo así la utilización de un operario respecto al modelo productivo actual de PHL para rollos de 100mts). El costo total de esta alternativa es el más bajo para el objetivo buscado por PHL, permitiendo así, luego de este estudio, implementar una nueva línea de producción optimizando la utilización de recursos.

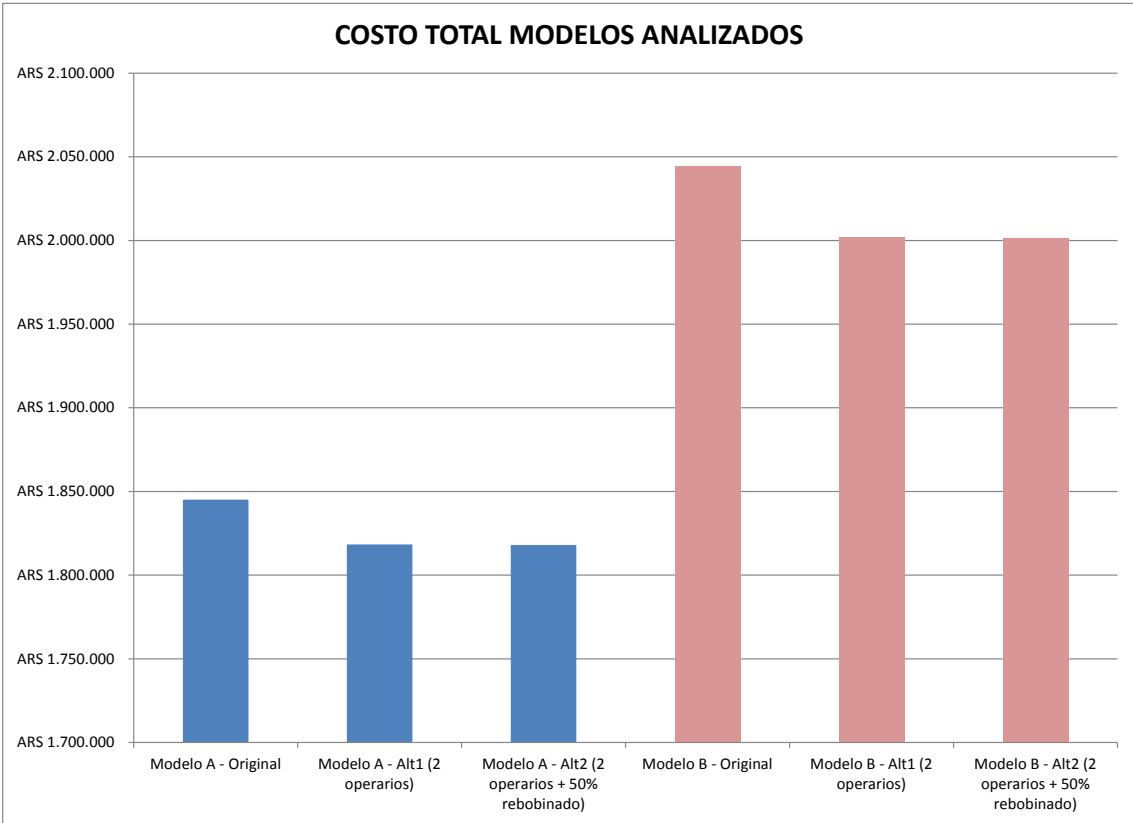


Figura 5.1. - Costo Total de las alternativas de los modelos A y B

La implementación de la alternativa seleccionada tiene la ventaja de ser un proceso conocido por PHL lo cual le permitirá un menor costo de aprendizaje, minimizando así cualquier problema que pueda surgir. La figura 5.1. muestra el resumen del costo total para cada alternativa de los modelos propuestos.

La alternativa elegida permitirá a PHL usar el tiempo remanente productivo de esta línea de producción para incursionar en otros productos o incrementar la fabricación de rollos institucionales en caso que la demanda sea mayor que la proyectada o en épocas de alta estacionalidad. Esta alternativa, además de ser un 9% más económica que la misma alternativa del Modelo B, permite una producción hasta un 75% superior a la proyectada por PHL (caso que no lo hace el Modelo B donde solo se puede incrementar hasta un 11% sobre la proyección) sin hacer modificaciones a los parámetros propuestos que rigen a los modelos.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

PHL S.R.L. 2010. Estudio de Mercado. 2010-2011.

Ross, S. M. 1997. Introduction to Probability Models.
Editorial Academic Press.

Chung, C. A. 2004. Simulation Modeling Handbook. A Practical Approach.
Editorial CRC Press.

Kelton, D. W., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A. 1998. Simulation with Arena.
Editorial WCB McGraw-Hill

Banks, J., Carson, J. S., II, Nelson, B. L. 1996. Discrete-Event System
Simulation.
Editorial Prentice Hall.