

## Agradecimientos:

A mí amada María-José, por el amor entregado,  
por ser mi fuente de energía  
y de comprensión en cada momento.

A mi tía Lili por su alegría y energía entregada.

A mis familiares, amigos y compañeros,  
por su comprensión y alegría.

A todos ustedes, mis más sinceros agradecimientos....

# Índice

<b>Capítulo 1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos del Estudio	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Alcance o Ámbitos del Estudio	5
<b>Capítulo 2. Análisis de la Empresa</b>	<b>6</b>
2.1 Descripción de la Empresa	6
2.2 Descripción del Proceso Productivo	8
2.3 Proceso de producción de chapas a un nivel básico	10
2.4 Proceso de producción de chapas a un nivel más detallado	12
2.4.1 Macerado	12
2.4.2 Debobinado	13
2.4.3 Cortado	14
2.4.4 Secado	14
2.5 Proceso de producción de Plywoods o tableros contrachapados un nivel básico	15
2.6 Proceso de producción de plywoods a un nivel más detallado	17
2.6.1 Armado	17
2.6.2 Encolado	17
2.6.3 Pre-prensado en frío	18
2.6.4 Prensado en caliente	18
2.6.5 Estabilización	19
2.6.6 Dimensionado	20

2.6.7 Retape	21
2.6.8 Lijadora	22
2.6.9 Prensa de recubrimiento	23
2.6.10 Embalado	23
<b>Capítulo 3. Planificación Mensual de tableros contrachapados en la empresa</b>	<b>24</b>
3.1 Aspectos claves en la elaboración del plan de producción mensual	25
3.1.1 Aspectos de mercado	25
3.1.2 Aspectos de Producción	26
a) Sobre los productos	26
b) Sobre los insumos	26
c) Sobre los Procesos productivos	27
3.2 Consecuencia de un mal plan de producción	28
<b>Capítulo 4. Metodología para Simular</b>	<b>29</b>
4.1 Razones para usar la simulación	29
4.2 Descripción del proceso de simulación	31
<b>Capítulo 5. Elección del Software</b>	<b>33</b>
5.1 Características Fundamentales	33
5.2 Arena Versión 4.0	36
5.2.1 Módulos Generales	37
a) Entidades (Entitys)	37
b) Asignar (Assign)	37
c) Recursos (Resouerces)	38
d) Horarios (Shedule)	39
e) Sistemas (Set)	40
5.2.2 Módulos de Producción	41
a) Crear (Create)	41
b) Proceso (Process)	41
c) Decisión (Decide)	42

d) Agrupa (Batch)	43
e) Separador (Separate)	44
f) Grabar (Record)	45
g) Cola (Queue)	45
h) Salida (Dispose)	46
<b>Capítulo 6. Estudio de Simulación</b>	<b>47</b>
6.1 Formular el problema y planear el estudio	47
6.2 Reunir los datos y formular el modelo de simulación	49
6.2.1 Análisis de datos de entrada	50
a) Recolección de datos	50
b) Estadísticas no paramétricas	51
c) Análisis de Datos	55
d) Hipotetización de familia de distribuciones	56
6.3 Construir Modelo de simulación	67
6.3.1 Tipo de Simulación	68
6.4 Verificación y Validación	70
6.4.1 Cálculo del número de Replicas	73
6.4.2 Comparación de medias	75
6.5 Diseño de experimentos	76
6.6 Análisis de los datos de salida	79
6.7 Documentación, presentación de los resultados	81
6.7.1 Resultados del Modelo	81
6.7.2 Escenarios Alternativos Propuestos	83
a) Mejoras al modelo actual	83
b) Aumento en la cantidad a producir	86
6.7.3 Comparación Estadística de Escenarios	91
a) Resultados de las Pruebas	94
b) Interpretación	94
c) Sugerencias	95

<b>Capítulo 7. Conclusiones</b>	<b>96</b>
7.1 Conclusiones	96
7.2 Recomendaciones	100
<b>Bibliografía</b>	<b>101</b>
<b>Anexos</b>	<b>102</b>
Anexo A	102
Anexo B	123
Anexo C	130

## Capítulo 1: Introducción

### **1.1 Introducción**

El proyecto nace de la necesidad que tiene la gerencia de la empresa TULSA S.A, una empresa creada en 1994 con aportes económicos de empresarios chilenos y norteamericanos que se dedica a la fabricación de chapas de maderas y de tableros contrachapados en el valle de Colcura, de contar con una herramienta de simulación que permita facilitar la toma de decisiones en el área de la producción, específicamente en la creación y monitoreo de un plan mensual de producción.

Como primer paso, se llevó a cabo un análisis del proceso productivo de la empresa, para, de este modo conocer detalladamente los distintos elementos que interaccionan en el sistema. Una vez conocido el sistema productivo y el funcionamiento de este, se creó un modelo de simulación que permite observar como se ve afectado el sistema productivo al variar las máquinas, los pedidos, los turnos y las fallas. Esto permitió observar escenarios distintos y sacar conclusiones de aquello.

Además del modelo de simulación anteriormente explicado, se creó un modelo alternativo donde se puede ingresar el plan mensual de prensado, la cantidad de producto que existe en bodega al comienzo del mes y además se pueden simular fallas en cualquiera de los procesos.

Esto último modelo permitió a la empresa probar el plan mensual de producción que ellos crean mensualmente. Con esto se pudo observar los embotellamientos que se forman, el día en que se entregan los pedidos y simular las fallas que en el transcurso del mes ocurren, esto les proporciona un ventaja que anteriormente a este trabajo no existía, ya que podrán observar con semanas de anticipación si pueden cumplir un pedido y de este modo quedar de mejor forma frente a sus clientes.

## **1.2 Justificación**

La simulación es una herramienta que permite realizar experimentos en el sistema productivo sin producir un gasto innecesario para la empresa, ya que se ahorra en mano de obra, tiempos de producción, tiempos de setup, etc., dado que no se ocupan los recursos verdaderos o reales de la empresa sino recursos virtuales. Al utilizar recursos reales se incurre en un gasto, siendo esto una limitante para que se puedan comprobar algunas ideas de sus empleados.

La simulación permite realizar cambios en las variables de entrada del sistema o introducir nuevas fuentes o atributos. Esto nos da la posibilidad de observar como se comporta el sistema de producción al llevarse a cabo constantemente variaciones. Todo esto permite facilitar el problema de la toma de decisión en planificación y programación de la producción para un periodo de tiempo determinado, porque se evaluarán distintos escenarios o alternativas.



## **1.3 Objetivos del Estudio**

### 1.3.1 Objetivo General

Mejorar los procesos, la productividad y reducir la incertidumbre en el plan mensual de producción de la empresa TULSA S.A, mediante una simulación del proceso de fabricación de tableros contrachapados o plywoods.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los cuellos de botella que se producen.
- Determinar las variables que inciden en el proceso.
- Determinar los tiempos de producción para un determinado Mix de productos.
- Determinar la tasa de producción actual y las tasas de producción para distintos escenarios.

## **1.4 Alcances o ámbitos del Estudio**

El trabajo se realiza en el área de fabricación de paneles contrachapados de la empresa TULSA S.A. Se abarcará solamente este proceso de fabricación, ya que en una reunión con el ingeniero a cargo de producción se llegó al acuerdo de que éste es el proceso más importante y fundamental de la empresa. Además posteriormente, esa simulación servirá de comienzo si se considera pertinente ampliar la simulación.

Por lo tanto, la simulación en un principio sólo se hará en el proceso de fabricación de paneles contrachapados y no se simulará la fabricación de las chapas, pero sin embargo, no se excluye su posterior integración al proceso de simulación si se observara que fuese necesario.

Se espera que el proceso de estudio y creación del modelo tome un tiempo no superior a 6 meses, para que la empresa comience a utilizarlo a comienzos del año 2004.

## Capítulo 2: Análisis de la Empresa

### **2.1 Descripción de la Empresa**

La empresa Tulsa S.A fue creada en 1994 mediante un “Join Venture” entre empresarios chilenos y norteamericanos con el propósito de crear Tulipas, de ahí proviene el nombre de Tulsa que se le dio a la empresa.

Tulsa S.A produce chapas y tableros contrachapados también llamados Plywoods con el propósito principal de exportar sus productos a exigentes mercados internacionales como lo son Europa, Norte y Centro América y Asia. Por esta razón era fundamental que la empresa estuviera localizada en un lugar cercano a un puerto, ya que el transporte de los productos finales se hace mediante vía marítima en la mayoría de los casos.

No solamente los productos son exportados también existe un mercado nacional al cual se abastece constantemente mediante el transporte vía terrestre.

Tulsa S.A es una importante empresa de la 8ª región que otorga más de 200 empleos y que contribuye en el proceso de agregación de valor a

nuestras materias primas, como lo es el pino radiata, fuente principal de la fabricación de los productos que ahí se desarrollan; además es una empresa en crecimiento que pretende aumentar su producción con la adquisición de nuevas maquinarias lo cual genera mayores recursos para el país y un aumento de empleos para esta zona.

### **Materias Primas**

En la fabricación de chapas y Plywoods (paneles contrachapados) se utiliza como materia prima trozos de madera, que pueden ser adquiridos a una variada gama de proveedores regionales y nacionales que posee Tulsa S.A.

Los trozos de madera corresponden a troncos de pino radiata de diámetro que varia de 20cm a 50 cm y de 2,5 mts de largo aproximadamente. Los trozos se pueden clasificar en 2 tipos y a continuación se detalla cada uno de ellos.

*Madera Podada:*

La madera podada recibe un tratamiento de poda durante su crecimiento, lo que la transforma en una madera de calidad superior, ya que el número de nudos que crecerá será menor.

*Madera No Podada:*

La madera no podada como se puede inducir es de una menor calidad, pero con un consecuente menor costos, lo que muchas veces es un factor delimitante en el momento de la toma de decisión.

## **2.2 Descripción del proceso productivo**

Para describir el proceso productivo de la empresa, primero señaláremos que se divide en 2 procesos fundamentales; uno es el proceso de fabricación de Chapas y el otro es el de fabricación de tableros, solamente este último será simulado mediante un software pudiéndose observar si posteriormente se requiere realiza una ampliación de la simulación, al primer proceso, el de fabricación de chapas.

El proceso de fabricación de chapas comienza con la adquisición de las materias primas, que, como anteriormente se dijo, son trozos de madera de pino radiata tanto podado como no podado. Estos trozos son descortezados y cortados para ingresarlos en piletas con líquidos que están a alta temperatura con el fin de hacer variar las propiedades mecánicas y físicas de la madera.

Este proceso que lleva el nombre de “macerado” es fundamental para evitar que las cuchillas que cortan la madera, y la materia prima se destruyan en el proceso posterior (debovinado).

A continuación se describirá el proceso de fabricación de chapas en un nivel básico; se explicará, cómo se mueve la materia en el proceso de fabricación; para luego ahondar en el tema más profundamente, detallando claramente cada uno de los procesos.

Posteriormente se llevará cabo el mismo procedimiento con el proceso de fabricación de paneles contrachapados o plywoods.

## 2.3 Proceso de producción de chapas a un nivel básico

Este proceso tiene como objetivo utilizar los trozos de madera ya macerados para elaborar un insumo intermedio, el cual se denomina chapa o tulipa o bien para fabricar un producto final, en el cual se agrupan las chapas y se forman paquetes que son comercializados.

### Chapas

-La chapa es una lámina de madera que posee buenas propiedades mecánicas en dirección paralela al de las fibras de la madera, esta característica se conoce como propiedad anisotrópica de la madera. Las dimensiones aproximadas de una chapa son de 2,5 m de largo por 1,3 m de ancho y de 3 mm de espesor.-

Primeramente en el proceso de fabricación de chapas los trozos de madera ingresan a una etapa de “debobinado” donde son transformados en láminas. Posteriormente a esto, las láminas entran a una etapa de “corte”, para luego pasar a ser lo que conocemos como chapas.

Las chapas ahora están cortadas, pero poseen un alto grado de humedad por lo que es necesario que pasen por un proceso de “secado”, donde serán sometidas a calor para así reducir su porcentaje de humedad.

Luego de pasar por la etapa de secado, las chapas pasan por un nuevo proceso, que es el de “selección” donde estas son clasificadas según su calidad y según sus propiedades mecánicas.

Ahora las chapas tienen 2 alternativas:

- 1.- Ser un producto intermedio, lo que significa que se utilizarán en el siguiente proceso de adición de valor que realiza la empresa, o sea que se utilicen en la fabricación de paneles contrachapados.
- 2.- Ser un producto final, lo que significa que las chapas son agrupadas para formar paquetes de chapas de distintas calidades para ser comercializados.



## 2.4 Proceso de producción de chapas a un nivel más detallado

Explicación detallada de cada uno de los procesos productivos en la fabricación de las chapas:

### 2.4.1 Macerado

En el macerado se colocan los distintos trozos de madera podados en tinajas de alta temperatura por 2 días para que así los trozos al pasar al proceso de debobinado no se destruyan ni destruyan las hojas que cortaran el trozo obteniendo las chapas.

Foto proceso de Macerado:

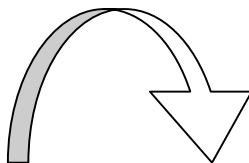


### 2.4.2 Debobinado

En este proceso los trozos de madera que ya fueron podados y macerados son montados en un torno giratorio, el cual los sujeta por ambos extremos y los hace girar, para que un cuchillo metálico corte de forma tangencial los trozos y comience a extraer las láminas de madera. Cada lámina posee un ancho de 2,5m aproximadamente y un espesor promedio de 3mm, el largo varia dependiendo de la parte del trozo de madera que se esta cortando.

Al terminar este proceso las láminas son puestas en una correa transportadora y son llevadas al proceso de "Cortado".

Foto Proceso Debobinado:



### 2.4.3 Cortado

En esta etapa la lámina pasa por un escáner que observa el tamaño y el número de nudos y rajaduras que esta posee, con el objeto de sacar el máximo provecho posible.

Posteriormente la lámina es cortada por una guillotina que realiza su trabajo según la información que el escáner arrojó anteriormente. La lámina luego del corte queda dimensionada y se transforma en lo que conocemos como chapa.

### 2.4.4 Secado

Como los procesos anteriores son muy rápidos y las chapas todavía contienen un gran porcentaje de humedad, es imprescindible que entren en una etapa de secado, la cual consta de dos maquinas que funcionan de forma paralela y que procesan varias chapas simultáneamente.

En esta etapa se elimina el exceso de humedad con el propósito de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las chapas.

## **2.5 Proceso de producción de Plywoods o tableros contrachapados un nivel básico**

### **Panel contrachapado**

Un tablero de contrachapado o plywood, (largo: 2.43 m x ancho: 1.22 m x espesor: 9 - 25 mm, aproximadamente) se conforma por varias capas de chapas pegadas y prensadas entre si, quedando la dirección de la fibra de cada chapa en forma alternada con la siguiente, para que el tablero logre condiciones mecánicas en ambos sentidos. Los tableros son de gran solidez estructural, poseen resistencia a la humedad, sirven para la aislación térmica y acústica, son livianos, etc.; esto permite su uso en interiores y exteriores (viviendas, (revestimiento de cielos y muros), muebles, embalajes).

Un tablero tiene tres partes, “cara” (primer lado expuesto), “contracara” (segundo lado expuesto), y “interior” (parte entre la cara y contracara, de espesor y número de chapas variable). El número de chapas que componen un tablero es variable, pero debe ser par para cumplir con el alternado de la dirección de la fibra de la madera.

Los Plywoods utilizan adhesivos de fenol-formaldehído, por su resistencia a la humedad (aprobado por la Agencia Internacional de Certificación TECO) y se rigen bajo estándares PS 1-95.

Las chapas después del proceso de “secado” pasan a “armado”, “encolado” (aplicación del adhesivo), “pre-prensado en frío” (preparación para el prensado), “prensado en caliente” (lograr propiedades mecánicas y de espesor), “estabilización” (reposo para fraguado del adhesivo) y “terminado y acabado” (donde se dimensiona, se lija y se recubre).

## 2.6 Proceso de producción de plywoods a un nivel más detallado

### 2.6.1 Armado

En la primera etapa se eligen las chapas a utilizar según los requerimientos y especificaciones técnicas; se ordenan las chapas según el alternado que se requiere en la dirección de las fibras; todo esto para facilitar las maniobras de ellas en la etapa de “encolado”.

### 2.6.2 Encolado

Se utilizan adhesivos a base de fenol-formaldehído, ya que estos logran las propiedades mecánicas de resistencia requeridas. Las chapas una a una van pasando por la encoladora y luego son juntadas para lograr el tablero.

Foto Proceso Encolado:



### **2.6.3 Pre-prensado en frío**

Se colocan los tableros en la prensa en frío, luego se prensan o “aprietan” las chapas para facilitar la entrada a la prensa caliente, esto es para permitir una transferencia homogénea del adhesivo en la madera. En esta etapa se evita el Dry-Out o autosecado, que es cuando el adhesivo es absorbido por la madera.

### **2.6.4 Prensado en caliente**

Luego del pre-pensado en frío, los tableros necesitan adquirir temperatura y presión. La presión se aplica para lograr un contacto entre superficies sin producir una pérdida excesiva de espesor, logrando una distribución homogénea del adhesivo y así asegurar una línea de cola sin aire ni excesos. La temperatura se aplica para facilitar la penetración del adhesivo, disminuyendo su tensión superficial, y para acelerar la reacción físico-química del adhesivo, que evapora su solvente y lo conduce al fraguado. Luego de aplicar el prensado se descarga la máquina.

### 2.6.5 Estabilización

Estabilización o reposo permite que la mezcla del adhesivo desarrolle de manera óptima sus propiedades mecánicas y que la madera alcance su humedad de equilibrio.

### **Terminación y Acabado (dimensionado, retape, lijado, recubrimiento y embalado)**

En esta etapa se le dan los toques finales a los tableros, según las especificaciones técnicas requeridas (dimensiones, espesor y acabado superficial).

La etapa de terminación y acabado no es una etapa simple, sino todo lo contrario una etapa donde la dinámica de sus procesos deberá variar mucho dependiendo del producto final que se espera producir. Por esto a continuación se detallarán los procesos que incluye esta etapa, pero no el orden a seguir, ya que como anteriormente se había dicho, el orden con el cual los productos fluirán por esta etapa variará dependiendo del tipo de producto a fabricar.



### 2.6.6 Dimensionado

En este proceso los paneles pueden ser alimentados a la máquina dimensionadora de dos formas distintas, una de forma manual en la cual 2 operarios toman los paneles y cargan la máquina y la segunda forma es de manera automática donde los paneles se ponen en la entrada de la máquina y esta los toma automáticamente.

Los paneles que deben ser cargados de forma manual son todos los FILMS (paneles con recubrimiento) y los paneles sin recubrimiento de espesor 6 y 9mm, ya que el espesor tan pequeño de estos no permite que la máquina los pueda tomar. Todos los paneles restantes se cargan de forma automática independiente del espesor que estos tengan.

Después de ser cargados en la dimensionadora los paneles pasan por 2 sierras, en las cuales son dimensionados, ya que se cortan una vez por el ancho y en la siguiente vez por el largo. El dimensionado tiene valores estándares de comercialización: largo: 2.4384 m (-1.6 mm, + 0 mm) x ancho: 1.2192m (-1.6mm, + 0mm).

Luego de ser dimensionados los paneles se apilan en lotes de números que dependerán del espesor de los paneles que fueron cortados. Por ejemplo un lote de paneles de espesor 6mm tendrá lógicamente un número mayor de paneles que un lote de paneles de espesor 24,5mm.

### 2.6.7 Retape

El proceso de retape consiste en la aplicación de un material que puede ser pasta Epoxica o Látex que cubrirá las imperfecciones que pueda tener el panel y que disminuye su calidad. Por esto, el proceso de retape consta de 2 líneas de producción que trabajan en paralelo, pero que poseen diferentes rendimientos, ya que la línea 2 opera al 37% del tiempo que utiliza la línea 1 en retapar los paneles.

Foto Proceso Retape:

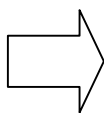


En esta etapa existen paneles que deberán ser retapados por ambas caras. Este es el caso de los FILMS (paneles que poseen recubrimiento) y los paneles tipo C+C+(paneles que se retapan por la cara y la trascara), los restantes paneles son retapados solo por una cara.

### 2.6.8 Lijadora

En la lijadora se calibra el espesor que se desea que tenga el producto final y se mejora la calidad superficial de los tableros. No todos los productos pasan por la etapa de lijado, pero estos poseerán un menor valor agregado y son un número reducido. Las velocidades de lijado variarán dependiendo del producto que se fabrica, pero en general los FILMS poseen una velocidad de lijado mayor ya que tendrán una capa de recubrimiento tanto en su cara como en su trascara que evitara que se observen imperfecciones.

Foto Lijadora:



### 2.6.9 Prensa de recubrimiento

En esta etapa se prensan al tablero capas de recubrimiento que le agregarán valor al producto final. No todos los tableros pasan por este proceso, solo los FILMS serán recubiertos por ambas caras. Todos los tableros que pasan por la prensa de recubrimiento deberán pasar nuevamente por la dimensionadora para que se corten los bordes sobresalientes del recubrimiento y así mejorar la calidad y presentación del producto a fabricar.

### 2.6.10 Embalado

El proceso de embalado se hace en forma manual. En esta estación trabajan 3 operarios que colaboran entre ellos para dar el formato correcto a los pedidos que luego serán enviados a sus respectivos destinos.

Estos 3 operarios ordenan, clasifican y pintan los tableros, dándoles el toque final y dejándolos presentables a la vista. Un elemento fundamental en el mercado competitivo de hoy en día.

## Capítulo 3: Planificación Mensual de tableros contrachapados en la empresa

Cada mes, la administración de la empresa se ve enfrentada al problema de decidir la cantidad de tableros que fabricará, para satisfacer a sus clientes y lograr la mayor utilidad posible.

Para poder lograr lo anterior se deben considerar distintos aspectos que se relacionan como el mercado y los estados de producción, es por esto que la elaboración del plan mensual de producción es una decisión que se toma en forma consensuada entre los gerentes de producción, gerentes de venta y el gerente general.

## **3.1 Aspectos claves en la elaboración del plan de producción mensual**

### 3.1.1 Aspectos de mercado

Se cuenta con la siguiente información para generar el plan de producción:

- 1.-Pedidos hechos por los clientes para el mes en cuestión.
- 2.-Pedidos del mes anterior que no han sido satisfechos en forma completa.
- 3.-Productos en distintas bodegas.
- 4.-Precio para cada uno de los productos.

Un punto adicional que vale rescatar son los pedidos adicionales que realizan los clientes y que no se pueden prever. Para dicha situación existen las siguientes opciones:

- Satisfacer en su totalidad el pedido realizado.
- Satisfacer solo la parte anteriormente acordada y transar con el cliente el nuevo pedido para el mes siguiente.

- Si el cliente necesita la totalidad del pedido, transar una solución para atrasar el pedido completo para el mes siguiente.

Cabe recordar que la empresa cuenta con información histórica de los pedidos realizados por sus clientes, lo que permite imaginarse un posible futuro de las cantidades y tipos de paneles que serán requeridos.

### 3.1.2 Aspectos de Producción

#### **a) Sobre los productos**

Cada producto necesita de cierta cantidad de insumos para ser fabricado, por esto es de vital importancia conocer la cantidad y calidad de chapa que se requiere para fabricar los distintos tipos de paneles que se elaborarán.

#### **b) Sobre los insumos**

Como ya se había citado anteriormente (capítulo 2) para la fabricación de chapas se necesita de trozos de madera, las cuales pueden ser madera podada o madera no podada. Cada una de ellas con distintos costos y

distinta disponibilidad dependiendo del mes en cuestión. Esto viene a complicar aun más el problema, ya que dependiendo del tipo de insumo el costo de elaboración será mayor o menor.

### **c) Sobre los Procesos productivos**

Como los productos naturalmente deben pasar por distintos procesos para ser fabricados es de vital importancia conocer la capacidad de producción y la disponibilidad que tiene cada uno de los procesos.

Otro punto especialmente importante en este sentido es la necesidad de lograr que cada uno de los procesos siempre tenga trabajo por realizar, para que así no se produzcan tiempos muertos o mano de obra ociosa, siendo esto un costo adicional que se debe prever. Por esto es de vital importancia generar un “mix de producción mensual” que cuente con una gama de productos que no genere mano de obra ociosa.



## 3.2 Consecuencia de un mal plan de producción

Una mala planificación de la producción puede ocasionar nefastas consecuencia para la empresa, como:

- Sucesivos retrasos e incumplimiento de compromisos en los pedidos hechos por los clientes, lo que provocará un alejamiento de ellos hacia otros proveedores.
- Ambiente de trabajo inestable y demasiada presión para el personal de producción.
- Utilidades menores para la empresa.

Por todo lo anteriormente descrito en este capítulo se origina la necesidad de contar con una herramienta que permita facilitar la toma de decisiones y que además muestre el posible futuro de un determinado “mix de producción mensual”.

## Capítulo 4: Metodología para Simular

### **4.1 Razones para usar la simulación**

La simulación es una herramienta muy útil hoy en día, ya que disminuir costos, lograr eficiencia y eficacia son elementos vitales en la industria. Esta herramienta permite realizar experimentos que de otra forma no se podrían realizar, además permite llevar a cabo análisis macros de situaciones reales que de otra manera sería difícil de observar. Todo esto sumado a la cada vez más necesaria reducción de la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones, hacen de la simulación una herramienta fundamental para la industria de hoy.

A continuación se especificarán razones del por qué usar la simulación.

1.- Cuando la relación entre variables no es lineal y se cuenta con demasiadas variables y restricciones en los enfoques de optimización.

2.- Para realizar experimentos sin realizar cambios en el sistema real, lo que significa no solo un ahorro económico por el movimiento de maquinarias, sino también por el ahorro en tiempo que se produce.

3.- Se puede realizar lo que se conoce como “compresión de tiempo” donde se usan modelos de simulación para obtener estimaciones características de operación en un tiempo menor a lo que significaría tomar esos mismos datos en un sistema real.

4.- Y como fue señalado anteriormente es una herramienta útil para perfeccionar las habilidades de toma de decisiones administrativas, por medio de juegos o experimentos.

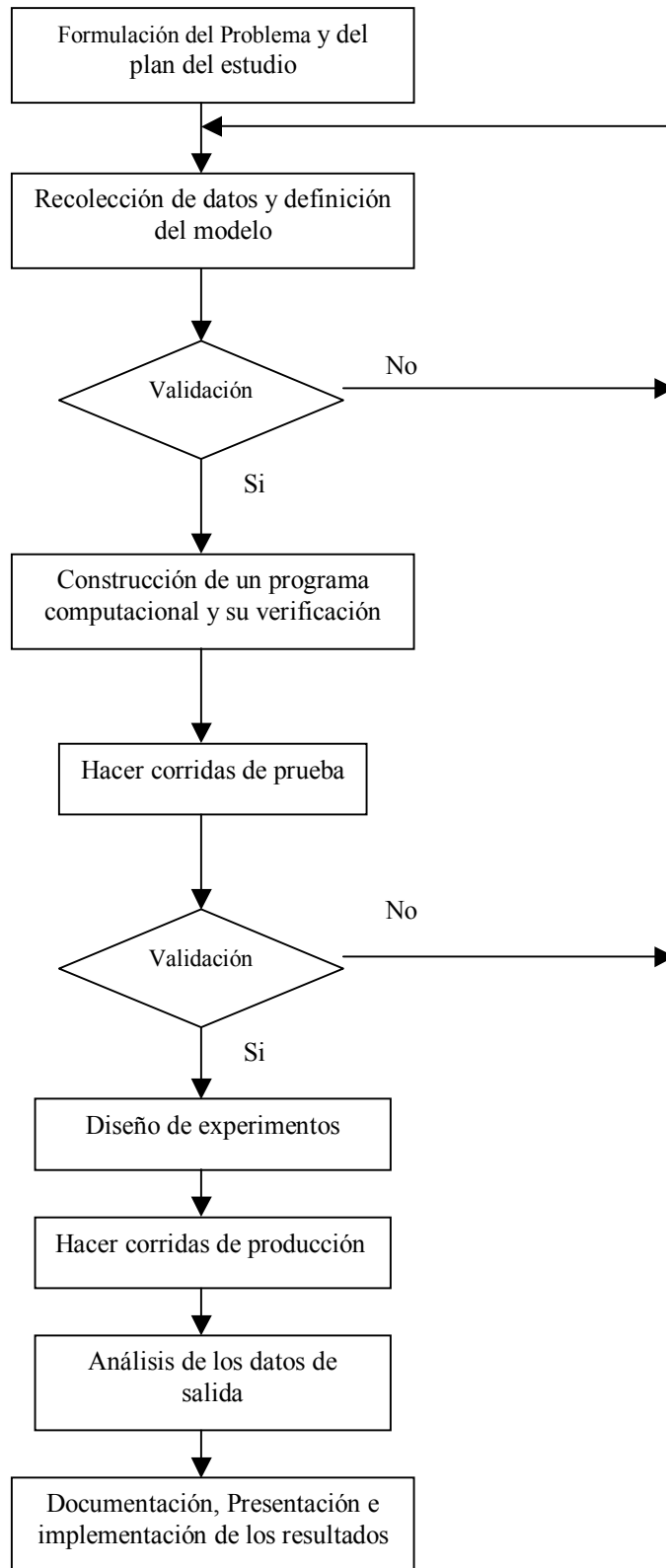
Por último es conveniente recordar que la simulación no es un optimizador, sino que una herramienta que permite ensayar distintas alternativas y al final obtener una solución tal vez algo menos que óptima.

## **4.2 Descripción del proceso de simulación**

Para realizar un estudio de simulación es recomendable seguir una cantidad de pasos que facilitarán y guiarán la investigación. Estos pasos no siempre se llevarán a cabo siguiendo el orden establecido y tampoco se considera fundamental que se cumplan cada uno de ellos, pero es una ayuda que sin duda facilitará el trabajo a futuro.

En este trabajo se usó la metodología propuesta por Law y Kelton, porque era la metodología que fue enseñada en el curso de simulación como también en el taller de simulación que se dicta en el Departamento de Ingeniería Industrial.

**Metodología de Simulación:**



## Capítulo 5: Elección del Software

Se busco un Software que contara con ciertas *características fundamentales* para la creación de un modelo de simulación del proceso de fabricación de paneles contrachapados, dado que la falta de alguna de ellas haría que el modelo fuera poco práctico, no realista o inútil.

### **5.1 Características Fundamentales**

Las características fundamentales que se requerian del software eran las siguientes:

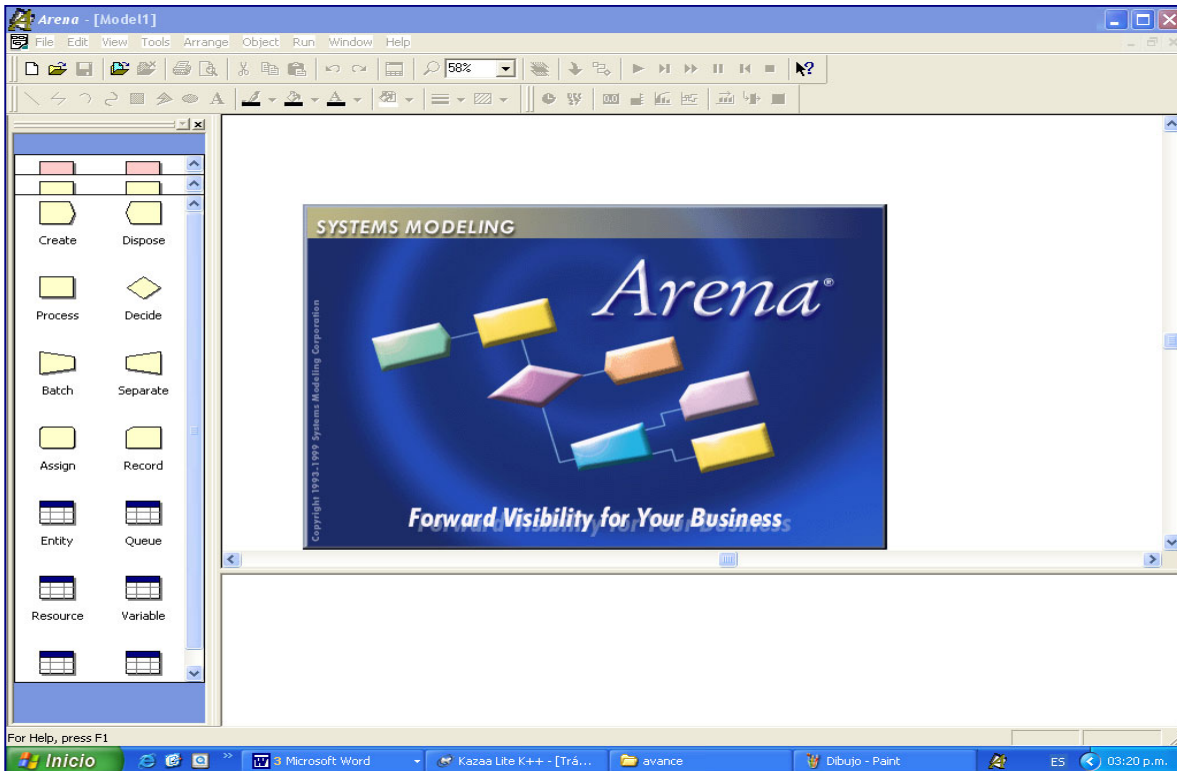
1. Que el software tenga la opción de Run-Time para así una vez creado el modelo, la empresa lo pueda utilizar y hacer cambios en sus parámetros.
2. Que el software tentga capacidades generales como la posibilidad de cambiar de atributos (variables de entidades), variables globales (variables del sistema), condiciones lógicas, expresiones y funciones matemáticas.

3. Que cuente con una interfase gráfica amigable para así hacer fácil su utilización.
4. Que existan manuales o académicos que conocieran el software para poder realizar consultas.
5. Que la universidad cuente con el software dado el elevado costo de este tipo de programas.
6. Que cuente con buenos reportes tanto estadísticos como gráficos.
7. Que cuente con una apropiada capacidad estadística, ya que un software de simulación debe ser capaz de generar números y variables de forma aleatoria y ser capaz de analizar los datos de entrada (ajuste de curva, Test Chi-Cuadrado, Test K-S, etc) como de salida (intervalos de confianza, Test estadísticos para comparar diferentes escenarios)

Dadas las anteriores características se concluyo que el software más apropiado para nuestro trabajo era ARENA V4.0 de la empresa Rockwell Software y por el tamaño de nuestro modelo se utilizará la versión

Académica, que es exactamente igual a la versión Profesional pero que se utiliza solo con fines de investigación.

En Tulsa se instalará la versión de Evaluación que cuenta con la opción de Run-Time que permite correr un modelo construido en la versión Académica y realizar cambios en los parámetros, pero no permite cambios en el modelo lógico del sistema.





## 5.2 Arena Versión 4.0

El software Arena contiene distintos tipos de módulos para el modelamiento de sistemas; dichos módulos relacionan entre si la información estadística que proporciona la persona que crea el modelo.

Arena es un software que permite la simulación de procesos de manufactura, los cuales generalmente poseen una entrada y una salida, para esto Arena contiene módulos que se interconectan entre si formando rutas por donde fluye la información.

Uno de los problemas de generar rutas es que las entidades (ver módulos generales, subcapítulo 5.2.1) se ven obligadas a seguir un camino, independiente de que este no sea una ruta de la entidad. Para solucionar dicho problema, Arena tiene la opción de generar secuencias. Las secuencias permiten que las entidades sigan caminos diferentes aunque los procesos se interconecten entre si.

Para comprender el Software es importante aclarar algunos conceptos, por esto a continuación se explican algunos de los elementos más utilizados en el modelo.

### 5.2.1 Módulos Generales

#### *a) Entidades (Entitys):*

Las entidades son cosas, personas, productos u objetos que entran, son procesados y salen del sistema.

En este módulo de datos se define los varios tipos de entidades y sus dibujos iniciales en una simulación. Se pueden asignar distintos costos como los costos iniciales de la información, el costo de espera de una entidad, etc.

Las aplicaciones típicas son:

- Items que son producidos o ensambladas (las piezas, productos).
- Documentos (formas, los e-mails, los faxes, los informes).
- Gente que se mueve en un modelo (los clientes, los trabajadores).

#### *b) Asignar (Assign):*

Este módulo se utiliza para asignar nuevos valores a las variables, cualidades a las entidades, tipos de entidades, imágenes a las entidades, o otras variables al sistema. Las asignaciones múltiples se pueden hacer con un solo módulo *Assign*.

Es importante mencionar que estos módulos pueden generar atributos, variables, dibujos, etc.

**Atributos (Attributes):** Los atributos son características que se asocian a las entidades y continúan con ellas a través del sistema. Los atributos se conocen también como variables locales.

**Variables (Variables):** Una variable es una pieza de información que define el estado del sistema. No son estáticas por lo cual pueden sufrir alteraciones en el transcurso de la simulación. Las variables se conocen también como variables globales.

Las aplicaciones típicas son:

- Agregar un dibujo específico, valor o nombre a una entidad.
- Agregar un sistema de secuencias a una entidad.
- Generar una variable que modifique el sistema en un momento determinado.

*c) Recursos (Resouerces):*

Este módulo de datos define los recursos en el sistema de la simulación, incluyendo costo de la información y la disponibilidad del recurso. Los recursos pueden tener una capacidad fija que no varíe sobre el

funcionamiento de simulación o pueda funcionar basado en un horario. Las fallas y los estados del recurso se pueden también especificar en este módulo.

Las aplicaciones típicas son:

- equipos (maquinaria, línea caja registrador).
- gente (administrativa, vendedores, operadores).

*d) Horarios (Shedule):*

Este módulo de datos se puede utilizar conjuntamente con el módulo de *Resource* para definir un horario de funcionamiento de un recurso o con el módulo de *Create* para definir un horario de la llegada. Además, un horario puede ser utilizado y referido el factor retraso basado en el tiempo de la simulación.

Las aplicaciones típicas son:

- Horario típico del trabajo, incluyendo roturas.
- Para los patrones de la interrupción del personal.
- Para el volumen de clientes que llegan a la tienda.

*e) Sistemas (Set):*

Este módulo de datos define varios tipos de sistemas, incluyendo recurso, tipo de entidades, tipos de secuencias, etc. Los sistemas del recurso se pueden utilizar en los módulos *Process*.

Las aplicaciones típicas son:

- Máquinas que pueden realizar las mismas operaciones en la fabricación.
- Supervisores, vendedores de comprobación en tienda.
- Vendedores de un envío, recepcionistas de la oficina.

### 5.1.2 Módulos de Producción

#### *a) Crear (Create):*

Este módulo se piensa como el punto de partida para las entidades en un modelo de la simulación. Las entidades se crean usando un horario o se basan en un tiempo entre llegadas. Las entidades entonces salen del módulo para comenzar a ser procesadas a través del sistema. El tipo de entidad se especifica en este módulo.

Las aplicaciones típicas son:

- En el comienzo de una producción de partes en una línea.
- Llegada de documentos (orden, cheque) en un proceso de negocios.
- Llegada de clientes a un proceso de servicios (tienda al por menor, restaurante, información de escritorio).

#### *b) Proceso (Process):*

Este módulo se piensa como el método de proceso principal en la simulación. Las opciones para agarrar y lanzar restricciones al recurso están disponibles. Además existe la opción para utilizar un submodelo.

Acá se asigna el tiempo de proceso a la entidad y se puede considerar para ser de valor añadido, no-valor añadido, transferencia, espera, u otra.

Las aplicaciones típicas son:

- Máquina que trabaja una parte.
- Repasa un documento para completarlo.
- Satisfacer las órdenes.
- Servir a un cliente.

c) *Decisión (Decide)*:

Este módulo permite procedimientos de toma de decisión en el sistema. Incluye opciones para tomar las decisiones basadas en unas o más condiciones (si es blanco o negro por ejemplo) o basadas en unas o más probabilidades (el 75% verdad; el 25% falso).

Las condiciones se pueden basar en los valores de la cualidad (atributos, prioridad), los valores variables (número asignado), el tipo de la entidad, o una expresión (cola del proceso A).

Hay dos salidas del módulo *Decide*, un punto de la salida para las entidades de la condición verdadera y otra para las entidades de la condición falsa, esto sucede cuando es bidireccional.

Cuando se especifica la probabilidad o la condición de N-maneras, los puntos múltiples de la salida se demuestran para cada condición o probabilidad y una sola salida que especifica lo falso.

Las aplicaciones típicas son:

- Envían una pieza fallada para reparación.
- Aceptada v/s rechazados en cheques recibidos.
- Enviar a clientes de prioridad a un proceso dedicado a ellos.

*d) Agrupa (Batch):*

Este módulo se piensa como el mecanismo que agrupa dentro del modelo de la simulación. Los **Batch** pueden estar permanentemente o agrupados temporalmente.

Los **Batch** temporales se deben partir más adelante usando el módulo **Separate**. Los **Batch** pueden hacerse con cualquier número especificado de entidades que entran o se pueden juntar basándose en una cualidad. Las entidades que llegan al módulo **Batch** se colocan en una cola hasta que el número requerido de entidades se ha acumulado. Una vez que esté acumulada, se cree una entidad representativa nueva.



Las aplicaciones típicas son:

- Recoger un número de piezas antes de comenzar a procesar.
- Volver a juntar copias previamente separadas.
- Reunir pacientes y sus expedientes antes de comenzar una cita.

*e) Separador (Separate):*

Este módulo puede ser utilizado para copiar una entidad entrante en entidades múltiples o dividir una entidad previamente juntada por lote.

Cuando se divide el *Batch* existente, la entidad representativa temporal que fue formada se separa y se recuperan las entidades originales que formaron el grupo. Las entidades salen secuencialmente del módulo en el mismo orden en el cual fueron agregados originalmente al *Batch*.

Al duplicar entidades, el número especificado de copias se hace y se envía fuera del módulo, la entidad original también sale del módulo.

Las aplicaciones típicas son:

- Enviar entidades individuales para representar las cajas quitadas de un Container.
- Separar un sistema previamente hecho por lotes de documentos.

*f) Grabar (Record):*

Este módulo se utiliza para recoger estadística en el modelo de la simulación. El tiempo entre las salidas a través del módulo, la estadística de la entidad (tiempo, costo, etc.), las observaciones generales, y la estadística del intervalo (de un cierto grupo fecha/hora al tiempo actual de la simulación) son estadísticas que se pueden capturar con este módulo. También esta disponible un tipo de conteo estadístico.

Las aplicaciones típicas son:

- Recoger el número de los trabajos terminados cada hora.
- Cuántas órdenes han sido realizadas más tarde de lo debido.

*g) Cola (Queue):*

Este módulo de datos se puede utilizar para cambiar la regla de ranking para una cola especificada. La regla de ranking por defecto para todas las colas es primera adentro, primero hacia fuera (FIFO), salvo especificación de lo contrario en este módulo. Hay un campo adicional que permite que la cola sea definida como compartida.

Las aplicaciones típicas son:

- Trabajo en espera de un recurso en un módulo de proceso.

*h) Salida (Dispose):*

Este módulo se piensa como el punto final para las entidades en el modelo de la simulación. La estadística de la entidad puede ser registrada antes de que se disponga la entidad.

Las aplicaciones típicas son:

- Partes dejan el modelo.
- Termina de los clientes del proceso.

Estos son los módulos más importantes usados en la creación del modelo de simulación del proceso de fabricación de paneles contrachapados en Tulsa S.A., si se desea más información acerca de los módulos se recomienda leer el anexo A, donde se especifican los restantes módulos de Arena 4.0, tanto los avanzados, los básicos y los de transportes.

## Capítulo 6: Estudio de Simulación

### **6.1 Formular el problema y planear el estudio**

En esta etapa se define el problema que posee el departamento de planificación de la empresa Tulsa S.A, para esto se conversó con el personal experto en la parte de la planificación mensual de la producción y se obtuvo de ellos los principales problemas que se ocasionaban en la empresa, se observó lo necesario, que era contar con una herramienta de simulación para poder solucionar dichos problemas. En dicha entrevista se pudo observar que existían 2 problemas fundamentales:

1.- Mejorar los procesos productivos en el proceso de fabricación de tableros contrachapados o plywoods, mediante la detección de “cuellos de botellas” en el proceso de fabricación. Determinar las posibles soluciones que se tomarán para corregir dichos embotellamientos, ejemplo: disminuir el número de turnos u operarios en los procesos que no sean cuellos de botellas con el fin de lograr un equilibrio en la producción.

2.- Determinar con mayor certeza los plazos y las cantidades de pedido ha fabricar según el plan de producción mensual. Para esto la simulación deberá tomar los datos que le indique el Jefe de Planificación de la empresa y entregar una estimación de los posibles plazos y cantidades a producir de los productos ingresados en el plan.

Para solucionar el primer problema se tomaron las bases de datos de **6 meses de producción** en la empresa Tulsa S.A, para así obtener el porcentaje de productos de mayor fabricación y así obtener una simulación de un mes de producción y con esto determinar los cuellos de botellas que se producen; además se plantearon distintos experimentos para así observar como se mueve la producción y si se eliminan o se agregan distintos elementos en el proceso de producción.

## 6.2 Reunir los datos y formular el modelo de simulación

En este paso se determinará y se dará a conocer los procesos de fabricación correspondientes a los distintos productos a simular, luego realizaremos una clasificación que nos permitirá agrupar dichos productos, para así mostrarnos las distintas alternativas de producción por las cuales ellos pasan.

En esta etapa se hará el *análisis de datos de entrada* para el modelo. Para llevar a cabo dicho análisis se necesita contar con la aplicación Input Analyzer del Software Arena V.4.0, la cual permite ajustar los datos a distintas distribuciones de probabilidades, observar los distintos errores estadísticos que se producen al ajustar los datos a dichas distribuciones, además de señalar como se comportan los datos según los Test de bondad de ajuste Chi cuadrado y Kolmogorov-Smirnov.

Dichos Test se usan para comprobar si las distribuciones teóricas se ajustan correctamente los datos recolectados. El modo de aprobar dichos Test es cuando el “valor-p” es superior a 0.05, aunque de todas maneras esto

no comprueba que sea un buen ajuste. Se tendrá mayor certeza si el “valor-p” es mayor, y se podría decir que es un buen ajuste si el “valor-p” es superior a 0.1.

Los ajustes de curvas de los tiempos de proceso para los distintos productos se detallan en el anexo B.

### 6.2.1 Análisis de datos de entrada

#### *a) Recolección de datos:*

Para comenzar la recolección de datos lo primero que se realiza es determinar los datos que se requieren. Se identifica como datos necesarios para ingresar al modelo, a los tiempos de proceso de los productos en las siguientes estaciones:

- Prensado
- Estabilizado
- Dimensionado y Bodega Dimensionado
- Retape

- Volteadora
- Lijado y Bodega lijado
- Recubrimiento
- Embalaje

Además se identifica que es necesario incluir los tiempos de fallas en cada una de las estaciones que anteriormente nombradas.

Los datos correspondientes a los tiempos en cada proceso fueron obtenidos a través de información histórica facilitada por la empresa y por el muestreo que se llevo a cabo en terreno.

Se les pidió a los encargados del funcionamiento de cada proceso que dieran una referencia acerca de los tiempos de proceso, los factores de operación y el tiempo y periodo de mantención para cada estación

*b) Estadísticas no paramétricas:*

En la simulación se llevo a cabo un proceso de recolección de datos, para así determinar las posibles distribuciones de tiempo que tienen cada uno de los procesos por los cuales pasan nuestros productos y que es



fundamental en la etapa de simular la fabricación de paneles contrachapados.

Para realizar un buen estudio se debe determinar el número de muestras a tomar, para que luego se ingrese la muestra en el analizador de datos y este aproxime los datos a alguna distribución conocida. Si no se da el caso se construye una distribución empírica con los datos.

En este momento aparecen las estadísticas no paramétricas, las cuales como dice su nombre no poseen parámetros y por lo tanto no se asemejan a ninguna distribución, por esto es imposible determinar un número de muestra exacto. Para solucionar dicho problema se debe observar la variabilidad de los procesos, ya que algunos procesos pueden ser determinísticos y para estos casos el tiempo siempre va a ser el mismo, porque la máquina está programada para actuar o trabajar por un tiempo determinado.

Por otro lado tenemos los procesos variables donde lo importante es observar y comprender la magnitud con que ellos varían. Esto se explica de la siguiente manera, al estimar el número de muestras a tomar se debe considerar todas las posibles situaciones que se presentan en el proceso, de manera de considerar un buen porcentaje del universo de cosas que pueden

sucedier en dicho proceso. Con esto se puede decir que un proceso simple sin mucha variación debe tener un número reducido de muestras y un proceso de alta variabilidad debe tener un número de muestras mayor.

Luego de recolectar y organizar los datos se fijaron los siguientes *supuestos*:

- 1.- La prensa esta constantemente cargada.
- 2.- Los tiempos de embalaje son muy difíciles de muestrear debido a que se trabajaba con 3 operarios que varían constantemente su manera de trabajar dependiendo de los productos que llegan a embalaje como también del turno que esta a cargo de dicho proceso. Por esto se opto por llegar a un acuerdo con los operadores en los tiempos mínimos, máximos y moda, y de esta manera crear una distribución triangular.
- 3.- Se simuló como un tiempo de falla, el tiempo que se demoran los trabajadores en comenzar sus tareas en el cambio de turno. También se simuló como una falla el tiempo que utilizan los trabajadores para ir a colación.

4.-El tiempo de Retape así como el tiempo de Lijado no se segmentó por tipo de producto y se asumió un promedio para dichos procesos.

c) *Análisis de Datos:*

Los datos recolectados durante el período de muestreo cumplieron con tres principios básicos:

1.- Independencia entre ellos: Cuando se trabajó con base de datos existió aleatoriedad en la extracción de los datos, debido a que se trabajó con un *muestreo al azar estratificado*. En cambio cuando se muestreo en terreno se utilizó una *combinación al azar estratificado y sistemático*.

Se utilizó este sistema de muestreo, porque la producción y los materiales se dividen naturalmente en grupos, luego fue necesario formar estratos. Para tomar las muestras de cada estrato se eligió un muestreo sistemático, ya que este método es particularmente útil en muestreos directos durante la producción.

Por esto se puede concluir que las observaciones recolectadas no eran influidas por el valor de otra observación.

2.-Homogeneidad: Al examinar los datos se verificó que los datos tomados provenían de una misma distribución, o sea, no se producía que en una estación los datos se comportaran como dos distribuciones diferentes.

3.- Estacionalidad: Las distribuciones no cambiaron en el tiempo, para periodos distintos de tiempos los tiempos presentaron distribuciones similares.

*c) Hipotetización de familia de distribuciones:*

En esta etapa se utilizó el “Input Analizar” del software Arena V4.0 al cual ingresamos los datos anteriormente obtenidos, y nos entregó los respectivos histogramas que luego se ajustaron a las distintas distribuciones dependiendo del error cuadrático medio de cada una de ellas. Así obtuvimos la mejor aproximación posible, además la aplicación Input Analyzer contiene distintos Test estadísticos que permitieron evaluar las hipótesis y verificarlas.

### **Situación actual**

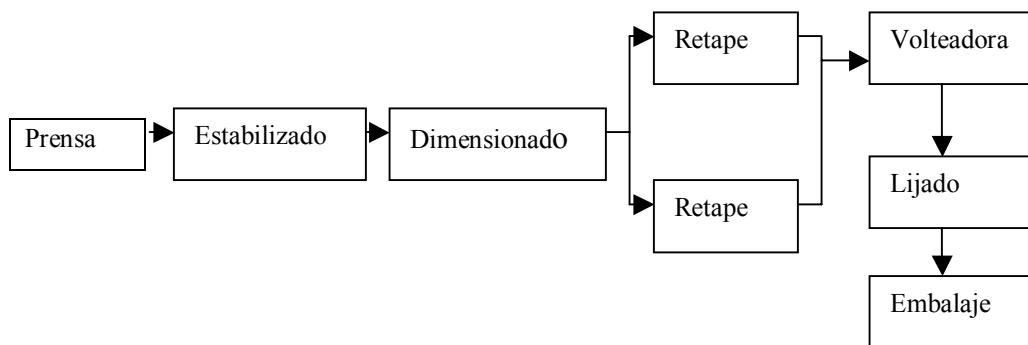
Actualmente se simularán 10 productos, que se diferenciarán entre sí por el tipo de panel y por los espesores de estos. Los productos se clasificaron según las 4 alternativas diferentes de producción, que globalizan todas las alternativas a la hora de fabricar algún tipo de panel contrachapado.

Se determinó que 5 productos pasan por la alternativa 1, 2 siguen la alternativa 2, 2 por la alternativa 3 y 1 por la alternativa 4, conformando un total de 10 productos. Los siguientes productos forman parte de 4 distintas familias de paneles que siguen diferentes alternativas de producción y que además poseen distintos porcentajes de fabricación.

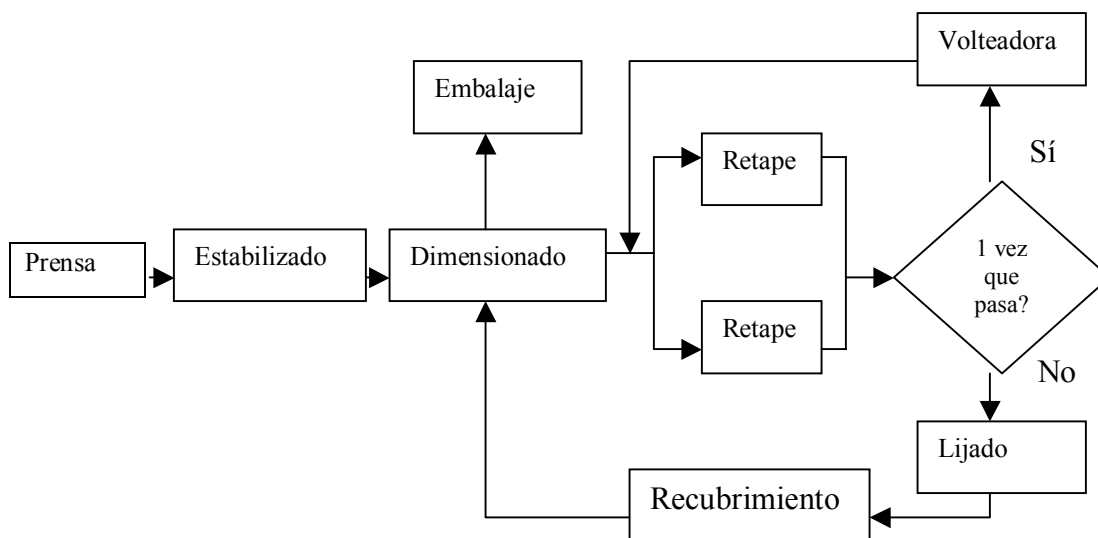
<b>Número</b>	<b>Espesor</b>	<b>Tipo de Panel</b>	<b>Alternativa</b>	<b>% Fabricación</b>	<b>% Acumulado</b>
1	9	AC	1	10%	10%
2	12	AC	1	10%	20%
3	12	BC	1	10%	30%
4	18	AC	1	18%	48%
5	18	BC	1	20%	68%
6	15	RR	2	10%	78%
7	18	RR	2	13%	91%
8	11	CD	3	2.7%	93.7%
9	15	CD	3	5.5%	99.2%
10	22	C+C+	4	0.8%	100%

### Descripción de alternativas productivas.

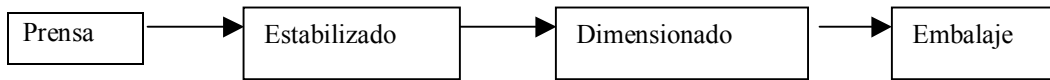
#### Alternativa 1:



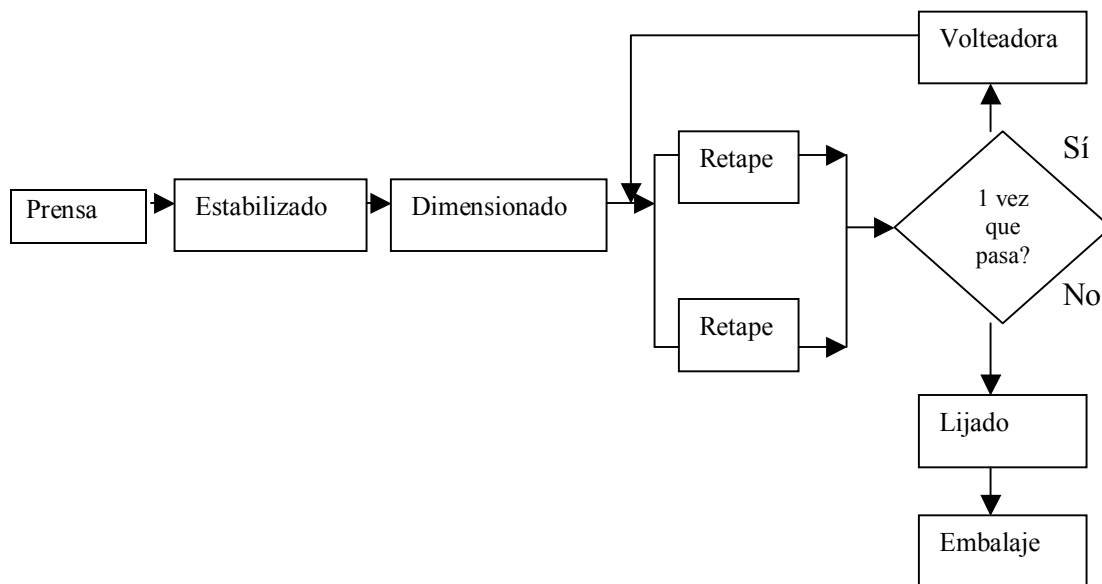
#### Alternativa 2:



**Alternativa 3:**



**Alternativa 4:**



Los tiempos de proceso dependerán de las características de cada panel y se describen como sigue:



## TIEMPOS DE LOS DISTINTOS PROCESOS

### A) Tiempo de prensado

El tiempo de fabricación en el proceso de prensado dependerá del espesor del panel que se prensará, por lo tanto para la lista de productos a simular solo se contará con 6 espesores distintos, luego se tiene 6 tiempos diferentes en esta etapa, los tiempos son determinísticos y son los siguientes:

Espesor	Tpo/carga	Tpo/alcanzar prensado	Tpo prensado	Total (min)
9	1	0.5	4	5.5
11	1	0.5	4.5	6
12	1	0.5	5.5	7
15	1	0.5	6	7.5
18	1	0.5	8	9.5
22	1	0.5	11.5	13

Los tiempos son fijos, ya que dichos tiempos son programados en un computador dependiendo del tipo de espesor de panel que se esté prensando. Por esto se toma el supuesto que en prensado no existen

distribuciones de tiempos, sino que el tiempo es determinístico y la variabilidad que exista en este proceso se incluye en la simulación como una falla que posee una distribución (ver anexo B).

### B) Tiempo de Estabilizado

El tiempo de estabilizado también depende del espesor del panel que pase por el proceso. Para el caso del proceso de estabilizado existen solo 2 tiempos distintos que son los que a continuación se presentan:

Para espesores:

- Inferiores o iguales a 12 milímetros, el tiempo de estabilizado es de 2 días.
- Mayores a 12 milímetros, el tiempo de estabilizado es de 1 día.

### C) Tiempo de Dimensionado:

El proceso de dimensionado es uno de los más complejos a simular, ya que presenta además de la variabilidad típica de un proceso complejo una variabilidad adicional en el tiempo de falla (ver anexo B)

La estación de dimensionado arrojó que el tiempo de proceso de los paneles se asemeja a una distribución del tipo triangular (TRIA (7.5, 14.3,

20.5)) para los paneles que ingresen desnudos y del tipo triangular (TRIA (17.5, 20, 26.5)) para los paneles que re-ingresan a dimensionado, después de ser recubiertos.

Lo anteriormente señalado se interpreta de la siguiente manera, el tiempo mínimo de proceso de 17.5 segundos, la moda es de 20 segundos y el tiempo máximo de proceso es de 26.5 segundos.

#### D) Tiempo Bodega Dimensionado:

La bodega de dimensionado se crea con un objetivo específico, el cual es contar con una cantidad de paneles para un inventario de seguridad en el caso de que suceda alguna falla en la máquinas anteriores al proceso de retape y así, este proceso no se quede sin Stock para trabajar. Por esto se asume que todos los productos tendrán un tiempo mínimo de espera de 24 horas en esta bodega.

#### E) Tiempo de Retape:

El proceso de retape consta de 2 líneas de producción que trabajan en forma paralela a tres turnos diarios. Las líneas se diferencian entre sí por la velocidad en que cada una de ellas se demora en retapar los paneles,

demorándose una de las líneas el 37% del tiempo que se tarda la otra línea en realizar la misma tarea.

Luego de realizar un proceso de muestreo con la aleatoriedad e independencia que se requiere y de analizar los datos obtenidos se puede estimar que el tiempo de proceso en retape se asemeja a una distribución Normal (NORM (19.9, 3.12)) con parámetros como la media de 19.9 segundos y la desviación estándar de 3.12 segundos.

Es importante recordar que algunos productos pasan 2 veces por este proceso y a ellos se les asigna la misma distribución Normal, ya que ellos también formaron parte del muestreo que se llevo a cabo.

#### F) Tiempo Volteadora:

La volteadora como lo dice su nombre voltea los paneles con 2 objetivos, uno para que vuelva a ingresar a retape y así la trascara del panel se retape o para que se voltee el panel antes de entrar a la siguiente máquina que es la lijadora.

El proceso de volteado es poco variable, por este se redujo el número de muestras, ya que con una cantidad pequeña se abarcan todas las posibles situaciones que se podrían presentar.

El tiempo de volteado se asemeja a una distribución Uniforme (UNIF(26.5, 32.5)), esto significa que la probabilidad de que el tiempo de volteado sea 26.5 segundos es de un 50% y la probabilidad de que sea 32.5 segundos es también un 50%.

#### G) Tiempo Lijado:

El proceso de lijado es el único de los procesos que no trabaja en tres turnos por lo tanto habrá que eliminar el tercer turno de trabajo de cada día y además eliminar por completo el día domingo ( turno de 6X1) donde la lijadora se mantiene inactiva todo el día.

Como la lijadora trabaja solo dos turnos no es necesario incluir en la simulación mensual el tiempo de mantención de esta máquina, ya que se realiza durante el período de inactividad de esta.

Luego de realizar el muestreo se determinó que el tiempo de lijado se asemeja a una distribución Exponencial (9.5 + EXPO(2.07)).

#### H) Tiempo Bodega de Lijado:

Este proceso es similar a la Bodega de Dimensionado. Se crea solamente con el fin de contar con un inventario de seguridad. A este

proceso solo ingresan los paneles del tipo FILM y por un intervalo de tiempo mínimo de 5 horas.

#### I) Tiempo Recubrimiento:

La Prensa de Recubrimiento forma lotes de 7 paneles y los prensa por un período de 10 minutos. El tiempo en este proceso es determinístico, ya que siempre es el mismo. La variabilidad que se produce en este proceso solo se debe por las fallas que se producen (ver anexo B) y es el tiempo que se asemeja a una distribución.

#### J) Tiempo de Embalaje:

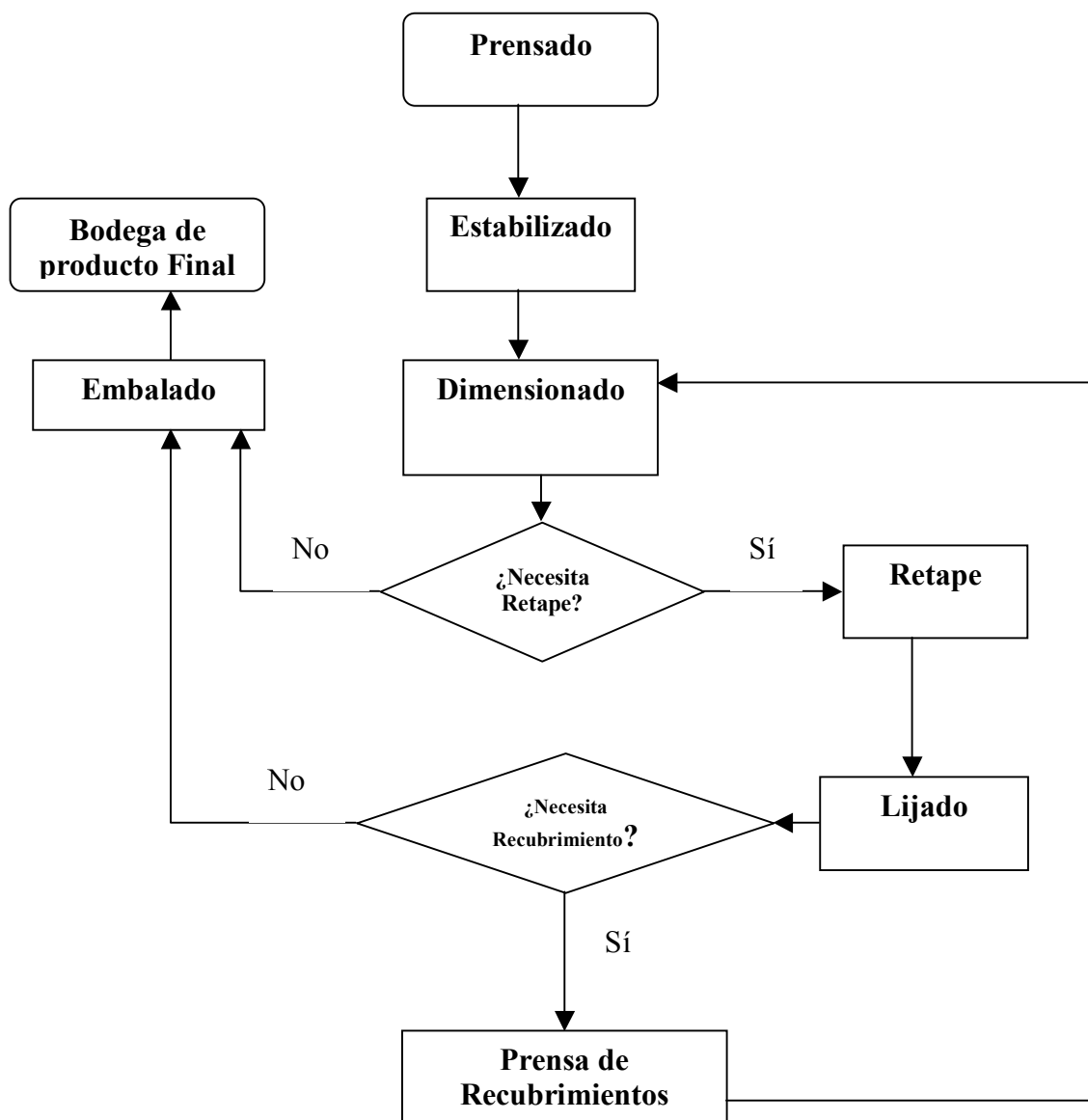
Este tiempo es extremadamente difícil de medir, ya que se trabaja de forma manual por operarios, que trabajan al mismo tiempo en diferentes productos sin un orden establecido. Por esto se conversó con los operarios, supervisores y se creó una distribución triangular donde ingresan las cuatro familias de productos con las que se trabajará.

Se llegó a un acuerdo con los expertos en los tiempos de procesos y se obtuvo el tiempo mínimo, la moda y el máximo de minutos utilizado en el embalaje de los paneles. Las distribuciones son las siguientes:

- 1.- Triangular (12, 13, 14) para los productos que forman parte de la alternativa 3 de producción.
- 2.- Triangular (12, 16.22, 18) para los productos que forman parte de la alternativa 1 de producción.
- 3.- Triangular (38, 40, 45) para los productos que forman parte de las alternativas 2 y 4 de producción.

### 6.3 Construir Modelo de simulación

Para facilitar la construcción del modelo en el Software, como primera medida se dibujó un diagrama de flujo de las actividades que suceden en la fabricación de los distintos paneles. Dicho diagrama se presenta a continuación:





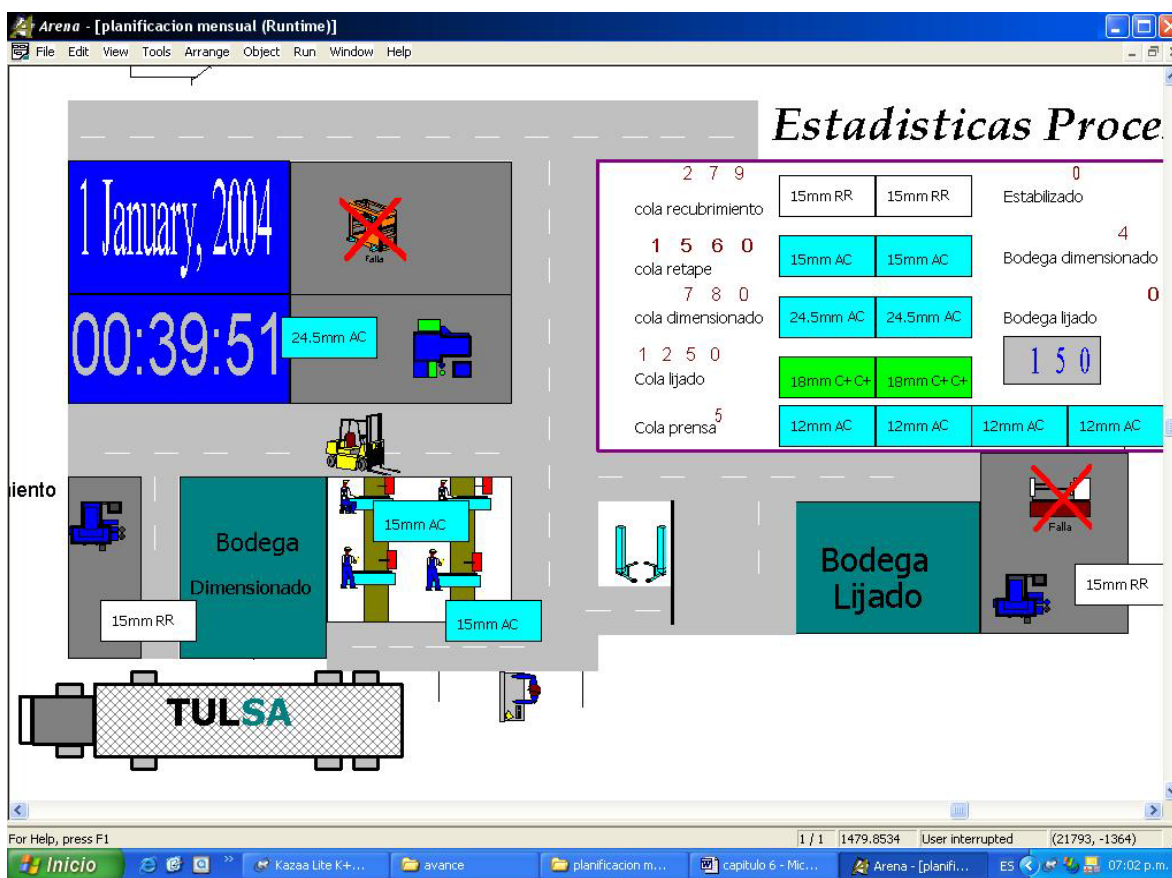
### 6.3.1 Tipo de Simulación:

Es bueno especificar de qué tipo de modelo de simulación estamos hablando; el primer modelo simulado es del tipo *dinámico, discreto y estocástico*, ya que el tiempo juega un papel importante en la simulación. Casi todos los modelos operacionales son del tipo dinámico. Discreto, por que la simulación cambia cada vez que sucede un evento como la llegada, la salida de algún producto en específico. Y por último es del tipo estocástico por la incertidumbre que poseen los datos al ser ingresados. Esto se explica, ya que la entrada de datos al sistema no es fija, puede ir variando el porcentaje de llegada de productos dependiendo de la hora o del tipo de producto que se trata.

El segundo modelo, en el cual se ingresa el plan mensual de producción es del tipo *dinámico, discreto y estocástico*. Pero ahora se ingresarán datos fijos en la entrada del modelo. Se ingresa el plan mensual de producción y la cantidad de producto que se desea en bodega.

El diagrama de flujo brinda el conocimiento de los procesos de fabricación, la definición del tipo de simulación que se realiza orienta los conceptos más el conocimiento de los nodos del programa Arena, esto permitió la construcción del modelo que en una etapa posterior fue validado.

### Animación Modelo de Simulación:



## 6.4 Verificación y Validación

En el proceso de verificación se observa si el modelo conceptual esta bien representado por el modelo de simulación y en el proceso de validación se observa si el modelo representa la realidad. Si el modelo puede sustituir al sistema real para propósitos de experimentación se dirá que el modelo simula la realidad.

En el proceso de validación es importante que el operador del modelo de simulación o el encargado de la toma de decisión crea en los resultados para que así el trabajo realizado no sea un trabajo inútil sino un herramienta útil en el proceso de toma de decisión y planificación.

Verificación:

Generalmente la verificación se hace utilizando las siguientes técnicas:

- Revisión del código: Se utiliza el componente TRACE del programa de simulación donde se despliegan los valores de las variables después de cada evento que sucede.
- Animación: Se llevan a cabo sesiones de verificación con los usuarios para identificar errores que son evidentes vía animación.

- Correr el modelo: Se corre el modelo simulado con diferentes parámetros de entrada para observar si el modelo genera algún error o acción inesperada.

#### Validación:

Comúnmente la validación se lleva a cabo en 2 etapas diferentes:

- Validación con expertos (usuario): En esta etapa se fijan reuniones periódicas donde se observa y se analiza el modelo tratando de encontrar fallas o situaciones que no suceden en la realidad, se siguen las rutas de los productos para verificar si son correctas. Para facilitar la tarea de la observación del modelo es conveniente contar con una animación que permita ver la situación representada de una forma macroscópica.
- Validación de resultados numéricos: En esta etapa se confirman los resultados que genera el sistema simulado con los resultados que genera el sistema real. También existe la comparación con resultados teóricos de modo de extrapolar resultados para períodos de tiempo donde no existan estadísticas y de esta manera comprobar los resultados.

En la validación de resultados numéricos es fundamental la utilización de métodos estadísticos de modo de comparar estadísticamente los resultados del modelo con el mundo real. Para generar esta comparación es importante seleccionar debidamente los parámetros más importantes como elementos de validación. Generalmente estos parámetros corresponden a las medidas de efectividad que se utilizan posteriormente.

En el modelo hecho en este trabajo los parámetros más importantes o que son tomados como medidas de efectividad son los siguientes:

- El número de productos fabricados si se simula un mes de producción.
- El tiempo necesario para crear un número determinado mensualmente de ordenes de trabajo o lotes a fabricar.

### 6.4.1 Cálculo del número de Réplicas

El modelo de simulación del proceso de fabricación de paneles contrachapados corresponde a un sistema no terminante, esto sucede, ya que es un sistema continuo y la simulación parte con entidades en cola. Si se comenzará la simulación con el sistema vacío se generaría un sesgo importante, además no sería representativo del estado del sistema

Existen 2 formas para lograr que el sistema no comience vacío:

- 1.- Mediante una inspección gráfica se observó cuando las variables comienzan a estabilizarse, esto permite estimar el período de calentamiento del sistema. Para el primer modelo o modelo original será de 10 días.
- 2.- Mediante el ingreso del número de entidades que se desea que existan en bodega una vez que comience la simulación.

Ahora para calcular el número de réplicas se ocupará la siguiente ecuación.

$$N = \left[ \frac{S * t_{n-1, 1-\alpha/2}}{\epsilon} \right]^2$$

Donde:

N= número de réplicas.

S= Desviación estándar de la muestra piloto.

t= Valor crítico de la distribución t para n = corridas piloto.

ε= Nivel de precisión del Intervalo de Confianza (ancho).

Se realizan 10 réplicas pilotos para el modelo de simulación de la empresa Tulsa y se calcula el número de réplicas para un nivel del 95% de exactitud. Con esto se puede calcular que el número de réplicas es de 16.

Por lo tanto, para que la medida de efectividad (número de productos fabricados si se simula un mes de producción) no varíe en más de 500 productos y con un 95% de nivel de exactitud se necesitan 16 réplicas.

En el anexo C se puede apreciar con detalle el cálculo que se realizó para llegar a ese número de réplicas.

### 6.4.2 Comparación de medias

La comparación de medias se llevo a cabo con los siguientes datos de entrada:

Productos que siguen la alternativa 1 = 67.9% aprox.

Productos que siguen la alternativa 2 = 23% aprox.

Productos que siguen la alternativa 3 = 8.3% aprox.

Productos que siguen la alternativa 4 = 0.8% aprox.

Con dicha combinación de porcentaje la empresa Tulsa en promedio fabrica en un mes 108.572 paneles.

Para el modelo realizado con el simulador si se ingresan dichos porcentajes y se realizan 16 réplicas, tenemos que la media es de 108.078 paneles con un nivel de confianza de un 95%. La desviación estándar para dichos datos es de 1.290 paneles, por lo tanto el intervalo de confianza varía entre 107.512 paneles y 108.643 paneles.



## 6.5 Diseño de experimentos

En el proceso de diseño de experimentos se trato de realizar escenarios diferentes de modo de observar donde deberían realizarse las inversiones de dinero, si se desea aumentar la cantidad a producir o bien determinar donde sería un esfuerzo inútil o un mal proceso en el cual invertir.

Se realizaron cerca de 6 escenarios diferentes donde se incluyeron máquinas que trabajaban en forma paralela a las que existen hoy en día, además se hicieron pruebas al sistema con diferentes variables de entrada ( porcentaje de cada alternativa) y cambios en el número de turno diarios por proceso.

Se varió el número de turnos, ya que al agregar maquinas en algunos procesos se quería comprobar si realmente era necesario contar con 3 turnos diarios o solo bastaba con 2 turnos diarios, cosa que sucede hoy en día en el proceso de lijado, donde el trabajo se realiza solo con 2 turnos diarios (turno 6X1). Este caso también fue corroborado mediante la simulación.

#### Experimento 1:

Se aumenta la velocidad de retape contratando nuevos trabajadores para que se retapen como promedio 4 caras por minutos.

#### Experimento 2:

Continuación del experimento 1, pero se retoman los tres turnos diarios en la estación de lijado.

#### Experimento 3:

Continuación del experimento 1, pero se adquiere una nueva máquina de recubrimiento, no se incluye tres turnos de lijado.

#### Experimento 4:

Se mantienen los cambios efectuados en el experimento 1, pero se aumenta a 2 el número de prensa, siendo estas de iguales características, por lo tanto, tendrán el mismo tiempo de proceso. Dado que existen 2 prensas aumenta el número de productos que ingresan al modelo. Además se cambia el lay-out transportando la estación de retape y la estación de recubrimiento.

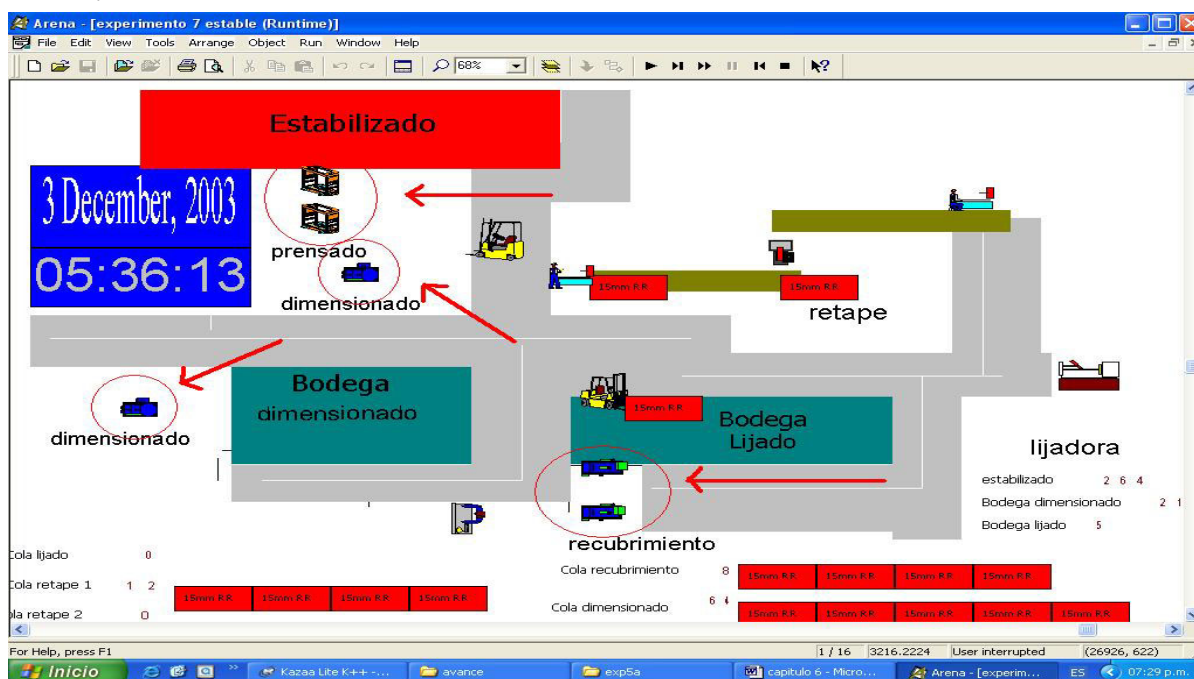
### Experimento 5:

Se mantienen los cambios realizados en el experimento 4, pero se adiciona una máquina dimensionadora con iguales características a la maquina actual y se incluye una tercera maquina de prensa de recubrimiento, además se disminuye el tiempo de embalado. Se probó la disminución de dicho tiempo en un 50% (Experimento 5A) y un 75%(Experimento 5B). Otro cambio que se incluirá, será un transporte adicional.

Este experimento cuenta:

- 1.- Con 3 turnos diarios para la dimensionadora 1.
- 2.- Con 2 turnos diarios para la dimensionadora 2 y el domingo estará sin trabajar.

Dibujo 6.2:



## 6.6 Análisis de los datos de salida

En este penúltimo paso se entregan una serie de tablas con los resultados que entregó el modelo simulado. Se muestran los resultados más importantes obtenidos luego de realizadas las 16 réplicas.

Las interpretaciones de los datos que a continuación se muestran serán entregadas en el paso siguiente de la metodología de la simulación.

Tabla N° 6.1:

<b>Proceso</b>	<b>Cantidad en Cola (paquetes aprox 60)</b>
Embalado	6
Dimensionado	12
Lijado	18
Prensa	10
Recubrimiento	3
Retape	22

Tabla N: 6.2

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo en Cola (minutos)</b>
Embalado	151
Dimensionado	230
Prensa	260
Recubrimiento	269
Retape	279
Lijado	492

El detalle de los datos de salida (Output de Arena) se entrega en el anexo D.

## **6.7 Documentación, presentación de los resultados**

### 6.7.1 Resultados del Modelo

Con los resultados entregados en el paso anterior se pudo hacer un análisis al sistema productivo, mediante un análisis de estadística descriptiva de sus datos. Posteriormente a esto se realiza una documentación y organización de aquellos resultados para su posterior presentación

En el proceso de documentación se ordena y sacan conclusiones del modelo creado. Mediante la ayuda de las tablas presentadas en el paso anterior, como por ejemplo la tabla 6.2, se puede apreciar el tiempo promedio en cola de los productos en cada uno de los procesos para las 16 réplicas y en la tabla 6.1 se puede apreciar la cantidad promedio de productos en cola también para las 16 réplicas.

Es importante recordar que estas tablas presentan los promedios de cada uno de los promedios de cada réplica, por lo tanto, tendrán una distribución normal (Teorema Central del Límite).

Se determinó que el cuello de botella se encontraba en la estación de retape, ya que es donde existía el mayor promedio de tiempo en cola para los productos, además la mayor cantidad promedio de producto y el mayor factor de utilización de recursos. Por esto los primeros esfuerzos que se realicen son enfocados a esa estación.

Además de determinar el cuello de botella se identificó que la estación limitante de la producción era la prensa y cualquier esfuerzo por aumentar significativamente el volumen a producir debería estar orientado en la ampliación de dicha estación.

### 6.7.2 Escenarios Alternativos Propuestos

Dados los antecedentes anteriores se diseñaron los experimentos (Subcapítulo 6.5), se corrieron y se pudo concluir lo siguiente:

*a) Mejoras al modelo actual:*

Experimento1:

Como ya se había hecho el análisis al modelo original, se descubrió que el cuello de botella era el proceso de retape. Se aumentó lógicamente la velocidad (aproximadamente 4 caras por minuto) de esta estación para observar cuales eran los efectos que se producían y donde se originaría el próximo cuello de botella.

Como resultado de la variación que se le hizo al modelo se aumento en la cantidad producida en 1.21%, situación que debe ser evaluada económicamente, ya que el aumento de velocidad de dicha estación va de la mano con la contratación de nuevos empleados o la capacitación y perfeccionamiento de estos.

Ahora ya realizada la modificación, el cuello de botella se desplazo a otra estación, situación que será remediada en el Experimento 3.



### Experimento 2:

Se incluyeron los 3 turnos en el proceso de lijado de modo de observar si se producía un aumento en la cantidad producida, pero los resultados fueron similares al modelo original, así que se optó por seguir con los dos turnos diarios de dicho proceso.

### Experimento 3:

Como se había observado que el cuello de botella se había trasladado hacia recubrimiento, se mejora la segunda máquina de esta estación de modo que su tiempo de proceso fuera del 50% de la máquina ya existente.

Luego de realizar el cambio mencionado se produjo un aumento de la cantidad producida en comparación con el modelo original, pero no aumentó en comparación al experimento 1.

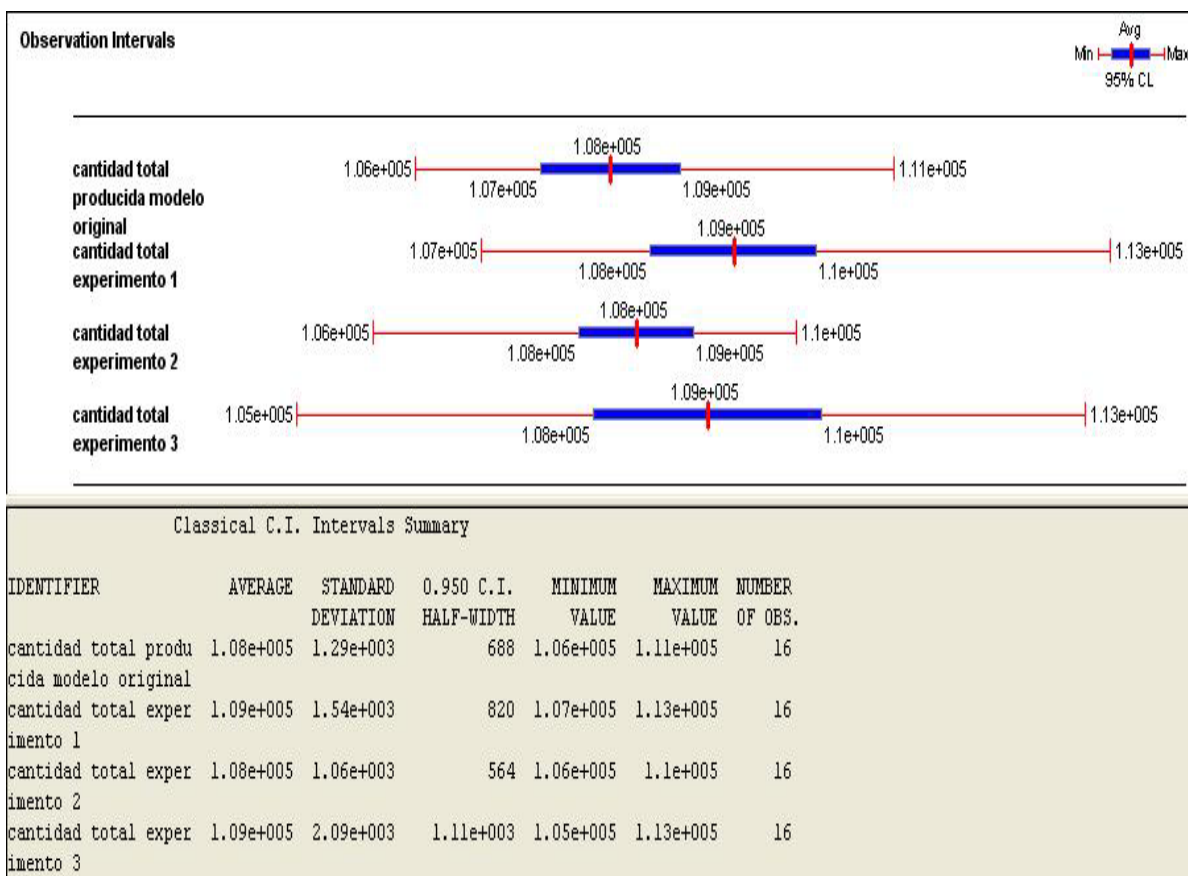


Diagrama 6.1

En el diagrama 6.1 se puede apreciar el número promedio después de 16 réplicas para los tres primeros experimentos. Se puede deducir inmediatamente que el experimento 2 no produce un cambio significativo en la cantidad producida.

A los experimentos 1 y 3 se les realiza una prueba de hipótesis (subcapítulo 6.7.3) para observar si su aumento en la cantidad producida es significativamente distinto a la media del modelo original.

*b) Aumento en la cantidad a producir:*

En el experimento anterior se observó otro dato fundamental para el análisis que se estaba llevando a cabo y era que se identificó que la estación de prensado estaba limitando la producción y por más esfuerzo que se hiciera por eliminar los distintos cuellos de botella, sino se efectuaba una inversión en dicha estación las distintas inversiones que se hicieran en otros procesos serían inútiles, por esto se decidió incluir otra prensa similar a la actual y que trabajara de forma paralela a la existente, para lograr aumentar la cantidad producida al doble y determinar las distintas inversiones que se deberían realizar en otras estaciones para lograr dicho aumento.

Como todos estos cambios no se pueden realizar de un día para otro se fueron incluyendo máquinas en los cuellos de botella que se producían. Además se fueron determinando las cantidades que se producían en dicho en cambios.

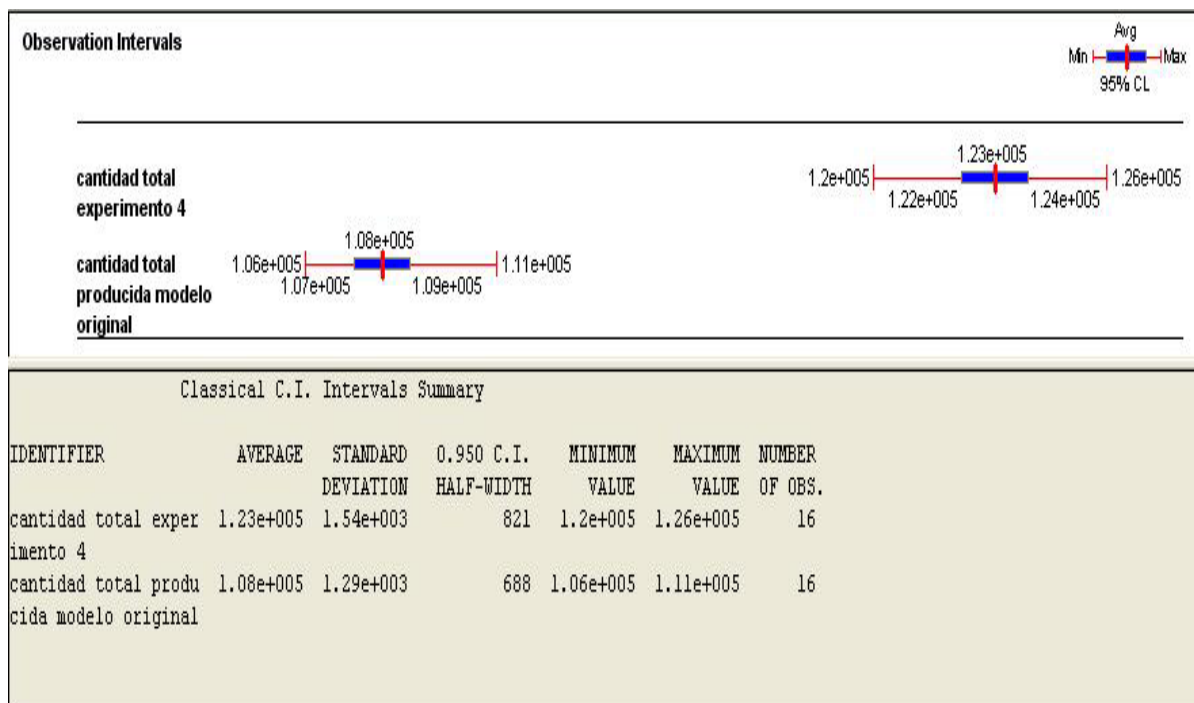
Todo lo anteriormente señalado se muestra en los siguientes experimentos:

#### Experimento 4:

Se incluyó otra prensa y además se hizo un cambio de lay-out, moviendo las estaciones de retape y de recubrimiento (dibujo 6.1).

Con dichos cambios se observó que se generaba un gigantesco cuello de botella en la estación de dimensionado para resolver dicho problema existen dos soluciones: una es simplemente aumentar el número de máquinas dimensionadoras a 2 (Experimento 5) con el respectivo costo que esto ocasiona, esto sin lugar a duda es la solución definitiva que se recomienda. Y por otro lado está la opción de trabajar con menos turnos en prensado por el período en que se demore la instalación de una nueva dimensionadora.

Con 1 turno diario en la prensa 2 (sin trabajar los domingos) se producirá una cantidad promedio aproximada de 123.341 paneles al mes.



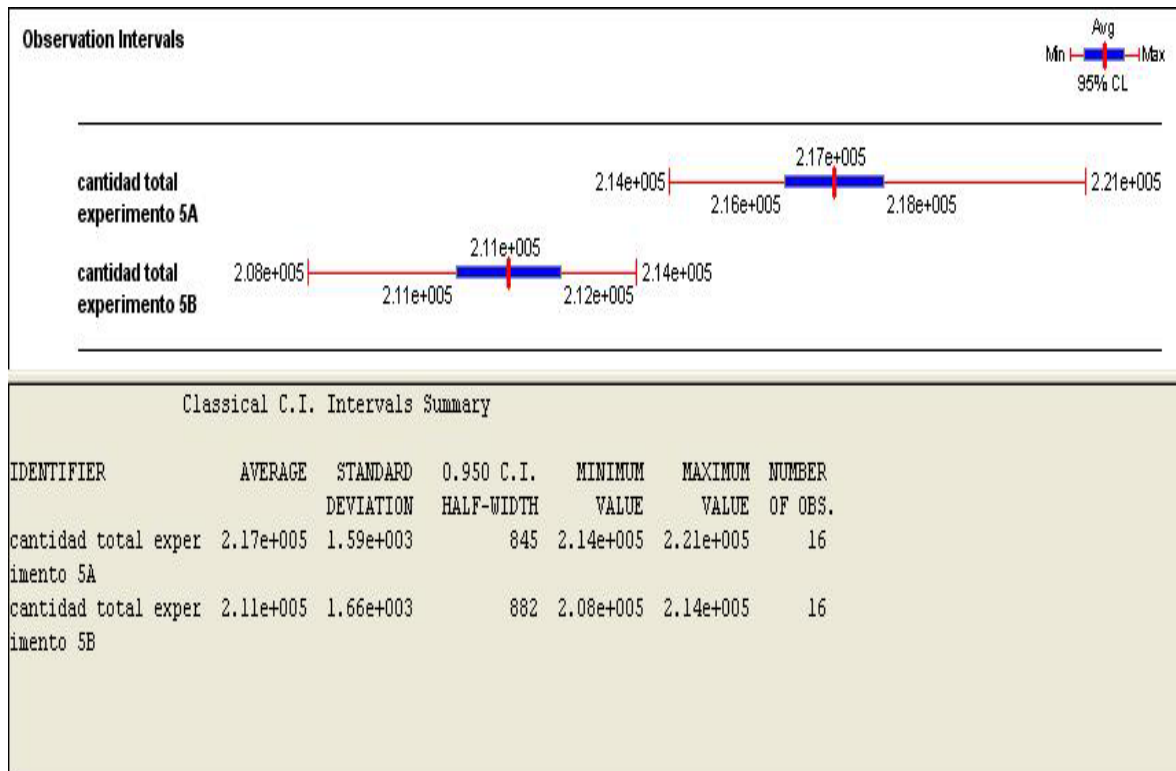
### Experimento 5:

Con el hecho de incluir otra máquina dimensionadora, el cuello de botella se transfiere a la estación de retape. Se experimentó con la posibilidad de bajar el número de turnos en dimensionado de manera de disminuir temporalmente la gigantesca cola que se forma en retape.

Se probó la fórmula de tener 2 turnos diarios en la dimensionadora 2 y 3 turnos diarios en la dimensionadora 1. Con esto el sistema produjo una cantidad promedio aproximado a 217.687 paneles. Esto se produce solamente si retape se acelera y la línea de retape 4 entrega cerca de 5.3 caras de paneles por minuto. Además se incluyó una 3<sup>a</sup> prensa de recubrimiento y se reduce el tiempo de proceso de embalado en un 50%. Es bueno recordar que en este experimento se incluyó otro transporte, ya que los resultados arrojaron una utilización del 100% del transporte 1. Por lo tanto se vio en la obligación de contar con un transporte adicional.

Con todo lo anteriormente descrito se produce una cola en dimensionado por el turno menos que se trabaja, pero es totalmente abordable, ya que solamente es la cantidad que se produce en un turno y medio o sea alrededor de 12 horas de trabajo.

El mismo experimento, pero con una disminución en el tiempo de embalado de un 75% arrojó una cantidad promedio a producir de 211.635 paneles.



### 6.7.3 Comparación Estadística de Escenarios

Una vez conocidos las cantidades promedios en el sistema para los distintos experimentos, es necesario saber si el aumento en la cantidad de paneles producidos en los experimentos alternativo es estadísticamente significativo como para producir un real mejoramiento del proceso de fabricación de paneles.

Por esto se desarrollaron distintas pruebas de hipótesis para comparar las medias muestrales.

Siendo:

Prueba 1:

$$H_0 : \text{Media modelo original} - \text{Media experimento 1} = 0$$

$$H_1 : \text{Media modelo original} - \text{Media experimento 1} \neq 0$$

Prueba 2:

$$H_0 : \text{Media modelo original} - \text{Media experimento 2} = 0$$

$$H_1 : \text{Media modelo original} - \text{Media experimento 2} \neq 0$$

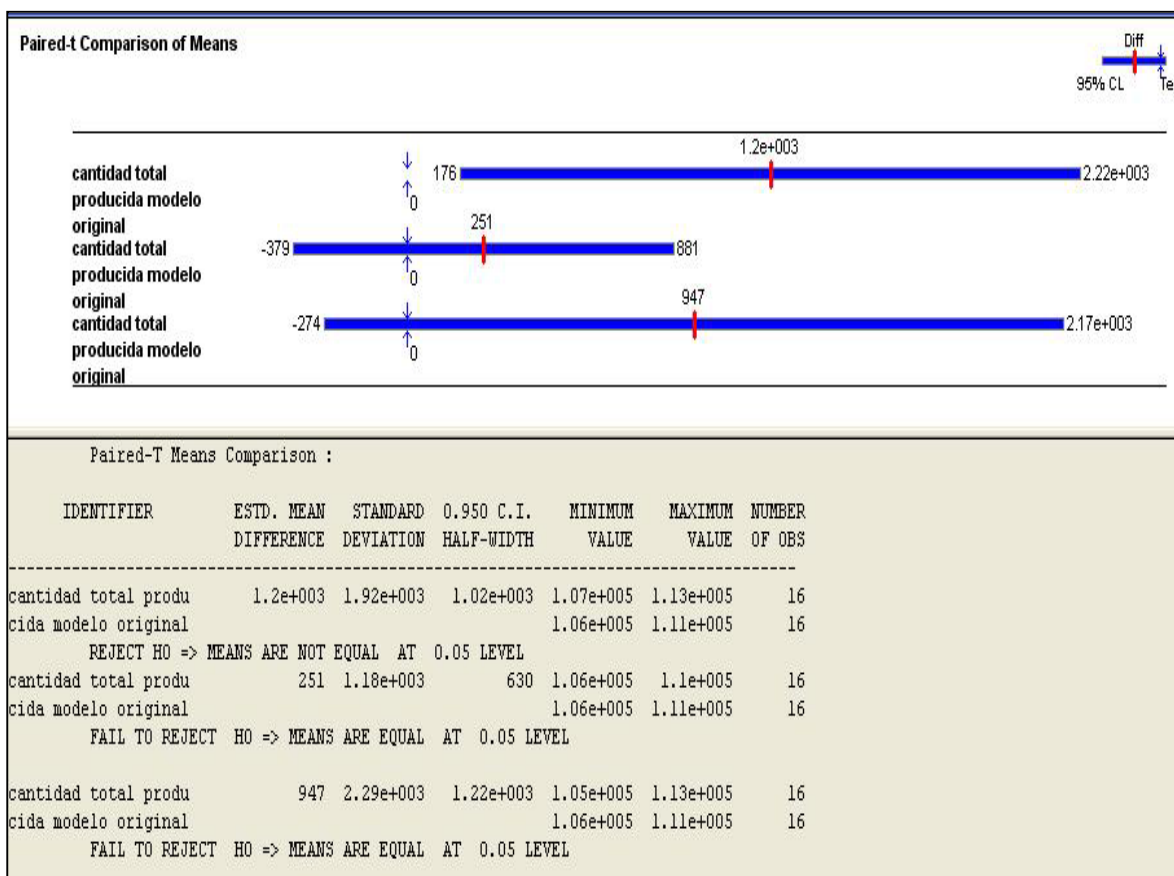


Prueba 3:

HO : Media modelo original - Media experimento 3 = 0

H1 : Media modelo original - Media experimento 3 ≠ 0

Estas pruebas de hipótesis se muestran a continuación:



Luego se realizaron las siguientes pruebas de hipótesis para los otros experimentos realizados:

Prueba 4:

HO : Media modelo original - Media experimento 4 = 0

H1 : Media modelo original - Media experimento 4  $\neq$  0

Prueba 5:

HO : Media experimento 5A - Media experimento 5B = 0

H1 : Media experimento 5A - Media experimento 5B  $\neq$  0

*a) Resultados de las Pruebas:*

Se utilizó la aplicación “Output Analyzer” de Arena para realizar la prueba de hipótesis. El resultado de dichas pruebas fue el rechazo solamente de la hipótesis nula para la prueba 1, 4 y 5, por ende se acepta la hipótesis alternativa con un nivel de confianza del 95%.

*b) Interpretación:*

Mediante dicha prueba se puede concluir que estadísticamente existe una diferencia:

- 1.- Entre las medias de las cantidades producidas en el modelo original y el experimento 1.
- 2.- Entre las medias de las cantidades producidas en el modelo original y el experimento 4.
- 3.- Entre las medias de las cantidades producidas en el experimento 5A y el experimento 5B.

Esto nos permite establecer que las modificaciones de mejoramiento propuestas al modelo original significarán un real cambio en el sistema, por lo cual se justifica la inversión en términos estadísticos.

*c) Sugerencias:*

Se necesita evaluar económicamente los experimento 5A y 5B, ya que conviene determinar si el aumento en los niveles de producción generan las utilidades necesarias para pagar el costo de la contratación de nuevos empleados para disminuir el tiempo en el proceso de embalado.

## Capítulo 7: Conclusiones

### **7.1 Conclusiones**

Tras un largo período de estudio del proceso de fabricación de paneles en Tulsa S.A se pudo construir un modelo de simulación mediante el software Arena. Dicho modelo representó fielmente el funcionamiento operacional (elaboración de paneles) de la empresa.

La ejecución de este modelo (primer modelo o modelo original) permitió cumplir con algunos de los objetivos específicos que se plantearon al comienzo de este trabajo, como era determinar los cuellos de botella que se producían, determinar las variables que inciden el proceso y determinar la tasa de producción actual como también para otros escenarios posibles.

El otro objetivo específico que era determinar los tiempos de producción para distintos Mix de productos también se cumplió, pero con un modelo modificado al original (segundo modelo), ya que se necesitaba que el modelo cambiara del tipo estocástico al determinístico. Esto sucedió, por la necesidad de ingresar un plan mensual determinado de productos a

prensado, además de contar con un determinado Mix de productos en las distintas bodegas al inicio de la simulación.

Tras la ejecución del primer modelo y la interpretación de sus resultados se pudo concluir que:

- El principal cuello de botella se encuentra en el proceso de retape, proceso que es muy variable, pero que cuenta con el mayor tiempo en cola y con la mayor cantidad de productos en espera. Situación que se muestra en las tablas 6.1 y 6.2.
- La forma de mejorar el sistema actual va por la disminución del tiempo de retape, hecho que provocará un aumento promedio del 1.21% en la cantidad producida. Esto se comprobó mediante la comparación estadística de escenarios, lo que permite asegurar que al menos en forma estadística, la propuesta significará un real mejoramiento en el proceso de elaboración de paneles.
- La estación de trabajo que limita la producción es Prensa y un aumento significativo en el volumen a producir va necesariamente ligado a un crecimiento en esta estación.

- La implantación de 2 prensas provocará un caos en la empresa si no se toman una serie de medidas que evitarán que se formen colas gigantescas en el sistema.
- Si se cuenta con 2 prensas, pero aun no se ha aumentado el número de dimensionadoras se recomienda operar con 1 turno diario la prensa 2 (sin trabajar los domingos). Esto producirá una cantidad promedio aproximada de 123.341 Paneles al mes.
- Se estima que con 2 prensas (Ver Experimento 5) se necesita la adquisición de una nueva dimensionadora, pero que trabaje solo con dos turnos de modo que no provoque una cola gigante en el proceso de retape. Además se debe retapar por lo menos 5.3 caras por minuto, se debe incluir una tercera máquina recubridora y aumentar el número de transportes a dos. Con estos cambios se espera tener un sistema de producción equilibrado y que produzca una cantidad promedio de 217.000 paneles mensuales.

Otro punto que estaba estipulado en los objetivos era el de disminuir la incertidumbre en el plan mensual de producción. Objetivo que se logró mediante la creación de un segundo modelo que era una modificación del modelo original, pero en el cual se pueden ingresar 120 ordenes mensuales

de prensado (determinístico) y 16 órdenes de productos en bodega al comienzo de la simulación (no estático).

Esto permitió probar el plan mensual de producción y determinar el tiempo de elaboración de dicho plan. Además la utilización de dicho modelo presenta las siguientes ventajas:

- La elaboración de un plan de producción cercano al óptimo dada la posibilidad de probar distintos mix de carga en prensado.
- La posibilidad de simular una falla si en la realidad sucede y se quiere apreciar las colas que se formarán y los retrasos que afectaran a los pedidos.
- La anticipación a dichos sucesos les permite negociar con sus clientes la forma de llegar a un acuerdo por el incumplimiento que se producirá.
- La disminución de los costos en que se incurre por la pérdida de credibilidad con los clientes al momento de suceder un incumplimiento de pedido.
- La reducción de la incertidumbre genera una liberación de tensiones y un mejor ambiente de trabajo para el personal a cargo de producción.



## **7.2 Recomendaciones**

Los tiempos de procesos son estocásticos y la adición de una nueva maquina o el remplazo de una por otra de otro tipo producirá un cambio en los tiempos de proceso, o fallas en el número de turnos, por lo que se recomienda realizar un muestreo de tiempo para las nuevas máquinas para que los datos del modelo sean los correctos.

El siguiente paso es la simulación del proceso de fabricación de chapas, para así contar con un modelo de simulación global de la planta, que permita asociar la cantidad de chapa fabricada con los paneles a fabricar.

## Bibliografía

- Kelton W., Sadowski R. y Sadowski D., "Simulation With Arena", Segunda Edición, Editorial Mc Graw Hill, Nueva Cork, 2002, paginas 9, 49-95, 268-332, 501-517.
- Montgomery D. y Runger G., "Probabilidad y Estadísticas Aplicadas a la Ingeniería", Primera Edición, Editorial Mc Graw Hill, Mexico D.F., 1996, paginas 385-389, 802, apéndice A-1.
- Gutiérrez H., "Calidad Total y Productividad", Primera Edición, Editorial Mc Graw Hill, Mexico D.F., 1997, paginas 322.
- Schroeder R., "Administración de Operaciones", Tercera Edición, Editorial Mc Graw Hill, Mexico D.F., 1992, paginas 593-618.
- Henriquez M., "Modelo De Programación Matemática Aplicado A La Planificación De La Producción De La Fabrica De Chapas Y Tableros Contrachapados Tulsa S.A", Tesis para la obtención de titulo de Ingeniero Civil Industrial, Facultad de Ingeniería, Departamento de Industrial 2001.

## Anexos

### **Anexo A: Módulos de Arena V4.0**

#### The Advanced Process Panel

##### **Delay**

El módulo Delay retrasa una entidad por una cantidad de tiempo especificada. Cuando una entidad llega al módulo Delay, se evalúa la expresión del tiempo de retraso y la entidad permanece en el módulo por el período de tiempo que resulte necesario. El tiempo entonces se asigna a la entidad como valor añadido, no-valor agregado, transferencia, espera, o a otro tiempo. Los costos asociados se calculan y se asignan también.

Las aplicaciones típicas

- Procesar un cheque en un banco
- Realiza un tiempo de setup en una máquina
- Transfiere un documento a otro departamento

##### **Dropoff**

El módulo de Dropoff quita un número especificado de entidades del grupo de entidades y las envía a otro módulo, según lo especificado por una conexión gráfica.

Las aplicaciones típicas

- Cargar estantes con productos
- Separa una forma para el uso en varios departamentos

### **Hold**

Este módulo sostendrá una entidad en una cola esperando una señal, condición.

Si la entidad está sosteniendo para una señal, el módulo de la señal se utiliza en otra parte del modelo para permitir que la entidad se mueva al módulo siguiente. Si la entidad está sosteniendo para que una condición dada sea verdad, la entidad permanecerá en el módulo (en una cola definida o interna) hasta que la condición llegue a ser verdad.

Las aplicaciones típicas

- Esperar un semáforo para que cambie a verde.
- Sostener una pieza hasta la autorización.
- Comprobar el estado de una máquina o de un operador para continuar un proceso.

## **Match**

El módulo Match reúne un número especificado de las entidades que esperan en diversas colas. El módulo Match se puede realizar cuando hay por lo menos una entidad en cada uno de las colas deseadas. Cuando una entidad llega el módulo Match, se coloca en una de hasta cinco colas asociadas, basado en el punto de entrada con el cual está conectado. Las entidades permanecerán en sus colas respectivas hasta que existe un Match. Una vez que exista un Match, una entidad de cada cola se lanza para ser emparejada. Las entidades emparejadas entonces se sincronizan para salir del módulo.

Las aplicaciones típicas

- Montar partes.
- Recolecta varios productos para un pedido.
- Sincroniza una salida del cliente con una orden llenada

## **Pickup**

El módulo de Pickup quita un número de entidades consecutivas de una cola. Las entidades que se escogen se agregan al final del grupo entrante de entidades.

### Las aplicaciones típicas

- recolectar una orden de la varias colas localizadas
- recolectar formularios completos para un orden en la oficina
- tomar estudiantes en una parada de autobús para la escuela

### **Readwrite**

El módulo de Readwrite se utiliza para leer los datos de un fichero de entrada o del teclado y asignar los valores de los datos a una lista de variables o cualidades (o otra expresión). Este módulo también se utiliza para escribir datos a un dispositivo de salida, tal como la pantalla o un archivo.

Cuando una entidad llega el módulo de ReadWrite, el archivo especificado se examina para ver si está abierto (activo). Si no, el archivo se abre automáticamente.

### Las aplicaciones típicas

- Lectura en línea aérea (llegada/salida) información.
- Escribir orden de información para un fichero de datos, tal como llegada de la orden, tiempo de llenado de la orden, tiempo de la terminación de la orden

## **Release**

El módulo Release se utiliza para lanzar unidades de un recurso que una modulo ha sostenido previamente. Este módulo se puede utilizar para soltar recursos individualmente o se puede utilizar para soltar recursos dentro de un sistema. Para cada recurso que se soltará, se especifica el nombre y la cantidad de este.

### Aplicaciones típicas

- Acabar una pedido del cliente (soltar al operador)
- Salir de un hospital (soltar a doctor, enfermera, sala del hospital)

## **Remove**

El módulo del Remove quita una sola entidad de una posición especificada en una cola y la envía a un módulo señalado.

El ranking de la entidad significa la localización de la entidad dentro de la cola.

### Aplicaciones típicas

- Llama a un paciente de un cuarto que espera para una examinación.

## **Seize**

El módulo Seize se puede utilizar para agarrar unidades de un recurso particular, de un miembro de un sistema del recurso, o de un recurso según lo definido por un método alternativo, tal como una cualidad o una expresión.

Cuando una entidad entra en este módulo, espera en una cola (si está especificado) hasta todos los recursos especificados está disponible simultáneamente. El tipo de la asignación para el uso del recurso también se especifica.

### Aplicaciones típicas

- Comienzan un pedido del cliente.
- Comienza una declaración de impuestos.
- Ser admitido al hospital.

## **Signal**

Cuando una entidad llega un módulo de la señal, se evalúa la señal y se envía el código de la señal. En este tiempo, las entidades en los módulos de la espera que están esperando la misma señal se quitan de sus colas. La entidad que envía la señal continúa procesando hasta que encuentra un retraso, entra en una cola, o se sale del sistema.



### Aplicaciones típicas

- Señal cuando la luz da vuelta a verde)
- Señalar a un operador para que trabaje una orden que esperaba una pieza.

### **Store**

El módulo del Store agrega una entidad al almacenaje. El módulo de Unstore se puede entonces utilizar para quitar la entidad del almacenaje.

Los almacenajes son útiles para exhibir la animación de la entidad mientras que una entidad experimenta el proceso en estos módulos.

### Las aplicaciones típicas

- Animar de una pieza con un número de retrasos en las operaciones.(Carga, proceso, descarga)

### **Unstore**

El módulo de Unstore quita una entidad de almacenaje. Cuando una entidad llega al módulo de Unstore, el almacenaje especificado disminuye y la entidad se mueve inmediatamente al módulo siguiente en el modelo.

### Aplicaciones típicas

- Quita la entidad animada de una localización cuando el proceso se completa.

## Módulos de datos

### **Advance set**

El módulo avanzado del sistema especifica los sistemas de las colas, el sistema de los almacenajes, y otros sistemas y sus miembros respectivos. Un sistema define un grupo de los elementos similares que se pueden referir vía un nombre común y un índice del sistema. Los elementos que hacen subir el sistema se definen como los miembros del sistema.

Los sistemas de colas se pueden especificar dentro de un module Seize. Los sistemas del almacenaje se pueden utilizar en el módulo del Store y de Unstore.

Aplicaciones típicas:

- Varias colas para comprar en una tienda de comestibles (colas).

### **Expression**

El módulo de la Expression define expresiones y sus valores asociados. Las expresiones son referidas al modelo usando su nombre. Las

expresiones se pueden especificar opcionalmente como uno o de dos dimensiones.

Un valor de la expresión se puede formar usando combinaciones de números enteros, de números reales, de nombres del símbolo, de distribuciones estadísticas (NORM (10,2)), de operadores aritméticos (+, \*), de paréntesis, de operadores lógicos, (GT. O >), de cualidades y de variables.

Aplicaciones típicas:

- La distribución de la entidad que llegada.
- Valores del cuadro de la entidad.

## **Failure**

El módulo de Failure se diseña para el uso con los recursos. Cuando ocurre una falla, se falla el recurso entero (sin importar su capacidad). Las fallas se diseñan de ser utilizado con los recursos de la solo-capacidad o con los recursos de múltiple capacidad, donde las unidades individuales del recurso fallan al mismo tiempo.

Aplicaciones típicas:

- Interrupción de una maquina.

## **File**

El módulo File debe ser incluido siempre que los archivos externos estén accediendo a usar el módulo de ReadWrite. Este módulo identifica el nombre del archivo del sistema y define el método de acceso, el formato, y las características operacionales de los archivos.

Aplicaciones típicas:

- Contiene el archivo predefinido de los datos de vuelo de una línea aérea.
- Archivo que especifica los tiempos y la información relevante.

## **Stateset**

El módulo de StateSet se utiliza para definir los estados de un recurso o un número de recursos. Los estados se pueden asociar a un autoestado, o pueden ser nuevos estados para el recurso. El módulo del recurso en el panel de proceso básico se refiere al stateset, luego en este modulo se especifica si se utilizará o no.

Aplicaciones típicas:

- Los estados para un operador, tal como ocupado con el cliente.
- Los estados para una máquina, tal como falla al azar, programar la falla.

## **Statistic set**

El módulo Statistic se utiliza para definir la estadística adicional que va a ser recogido durante la simulación y también especificar ficheros de datos de la salida. Mientras que la estadística sumaria (medio y máximo) se genera automáticamente, si usted especifica un archivo de salida, entonces cada observación individual (cada cuenta registrada) se escribe en un archivo de salida. Los tipos de estadística que se pueden definir en el módulo de la estadística son tiempo-persistentes, contar, frecuencia, etc.

### Aplicaciones típicas

- Recopilar datos de observación para comparar dos configuraciones de la simulación.
- Sigue el número de clientes en un almacén de una tienda usando la función de NSTO y los módulos de Store/Unstore.

## **Storage**

El módulo del Storage define el nombre de un almacenaje. Los almacenajes son creados automáticamente por cualquier módulo que se refiera al almacenaje de modo que este módulo es raramente necesario. La única vez que este módulo es necesario es cuando se define un almacenaje

como un miembro de un almacenaje fijó o especificó con una cualidad o una expresión.

Aplicaciones típicas:

- Define un almacenaje animado para un sistema de almacenajes.

### The Advanced Transfer Panel

#### **Enter**

Él módulo Enter define una estación (o un sistema de estaciones) que corresponde a una localización física o lógica en donde ocurre el proceso. Cuando una entidad llega a un módulo Enter, ocurre un retraso en la descarga y en cualquier dispositivo de transferencia usado para transferir la entidad a la estación del modulo Enter.

Aplicaciones típicas :

- En un sistema de producción, donde una correa transportadora llega con los productos de las distintas estaciones.

## **Leave**

El Modulo Leave se utiliza para transferir una entidad a una estación o a un módulo. Cuando una entidad llega un Modulo Leave, espera para obtener un dispositivo de transferencia (recurso, transportador o conveyor).

Finalmente, la entidad se transfiere de este módulo a un módulo o a una estación de destino.

Aplicaciones típicas :

- En un sistema de producción, donde una correa transportadora se va con los productos a las distintas estaciones.

## **PickStation**

El Módulo de PickStation permite que una entidad seleccione una estación particular de las estaciones múltiples especificadas. Este módulo escoge entre el grupo de estaciones basadas en la lógica de selección definida con el módulo. La entidad puede después transportar, o conectar con la estación especificada.

Aplicaciones típicas :

- Un cliente selecciona entre las líneas de cajeros basado en el menor número en cola en cada línea.

## **Route**

El Route transfiere una entidad a una estación específica, o a la siguiente estación dada una secuencia definida para la entidad. El tiempo de demora para transferir a la siguiente estación se define aquí.

Aplicaciones típicas :

- Envía un producto a una determinada estación en un tiempo especificado.

## **Station**

El Station define una estación (o un sistema de estaciones) correspondientes a una localización física o lógica en donde ocurre el proceso.

Aplicaciones típicas :

- Define un área de preparación de alimento.

## **Access**

El modulo Access asigna unas o más células de transporte a una entidad (productos) para el movimiento de una estación a otra.

Aplicaciones típicas :



- Productos con acceso a un transportador que se enviará a una cabina de pintura.
- Un cristal que tiene acceso a un transportador que se transferirá a una estación de corte.

## **Convey**

El modulo Convey mueve una entidad en un transportador desde su actual estación a su estación de destino. El tiempo de retraso para transportar la entidad a partir de una estación a la siguiente se basa en la velocidad del transportador (especificado en el modulo Conveyor) y la distancia entre las estaciones (especificada en el modulo Segment).

Aplicaciones típicas :

- Transportar bolsos de una localización al área de equipaje.

## **Exit**

El modulo Exit lanza las entidades en un transportador especificado.

Aplicaciones típicas :

- Pasajeros quitan equipaje del transportador.

## **The Start**

El modulo Start cambia el estado de un transportador de inactivo a activo.

Aplicaciones típicas :

- Comienza un transportador de botellas después de que se programa el mantenimiento.

## **Stop**

El modulo Stop fija el estado operacional de un transportador a inactivo. Cuando la entidad entra en el STOP MODULE, el transportador parará inmediatamente el transportador y el número de entidades actualmente en el transportador.

Aplicaciones típicas :

- Detiene un transportador para el mantenimiento programado.

## **Activate**

El modulo Activate aumenta la capacidad de un transportador previamente parado.

Aplicaciones típicas :

- Activación de una correa transportadora con una nueva velocidad luego de que estaba parada por mantenimiento.

## **Allocate**

El modulo allocate asigna un transportador a una entidad fuera del movimiento de ella (la entidad).

Aplicaciones típicas :

- Asignar un taxi para recoger pasajeros esperando.

## **Free**

El modulo Free lanza la entidad que estaba recién en el transporte, dejando libre al transporte y de esta manera puede ser utilizado nuevamente.

Aplicaciones típicas :

- Un carro de la transferencia del aeropuerto termina su viaje.

## **Halt**

El modulo Halt cambia el estado de una unidad de transporte a inactivo. Una vez que se haya parado una unidad de transporte, ninguna entidad conseguirá el control del transportador hasta que este activado.

Aplicaciones típicas :

- Parada de una carretilla para el mantenimiento.

## **Move**

El modulo Move avanza un transportador de una estación a otra sin una entidad. La entidad permanece en su localización actual hasta que el transportador llega su destino. En ese momento, la entidad podrá moverse a otro módulo.

Aplicaciones típicas :

- Movimiento de un trabajador a colación (viaja sin producto).
- Movimiento de un camarero a la cocina.

## **Request**

El modulo Request asigna una unidad de transporte a una entidad y mueve la unidad a la localización de la entidad. Cuando la entidad llega al modulo Request, se asigna un transportador cuando uno está disponible.

Aplicaciones típicas :

- Clientes de un restaurante están listos para pedir y solicitar un mesero.

## **Transport**

El modulo de transporte transfiere ambos, la entidad que controla y la unidad de transporte a de una estación a otra.

El retraso para mover la entidad y el transportador a partir de una estación al siguiente se basa en la velocidad el transportador (especificado en el Modulo Transporter) y la distancia entre las estaciones (especificadas en el modulo distance).

Aplicaciones típicas :

- Un carro de correo transporta paquetes desde la habitación de correo a la estación de orden de procesamiento.

### Módulos de datos

#### **Sequence**

El modulo sequence se utiliza para definir una secuencia para la entidad que atraviesa el modelo. Una secuencia consiste en una lista pedida de las estaciones que una entidad visitará.

Aplicaciones típicas :

- Define la trayectoria del camino para la partes del proceso.
- Define una secuencia de pasos que los pacientes que deben tomar en la llegada a un hospital.

## **Conveyor**

El modulo Conveyor permite la definición de un transportador que acumula o que no acumula para el movimiento de la entidad entre las estaciones. Cuando se usa un transportador para transferir entre los módulos, el transportador se debe definir usando este módulo.

Aplicaciones típicas :

- Transportador de botellas

## **Segment**

El modulo Segment define la distancia entre dos estaciones en el sistema del segmento de un transportador (Conveyor).

Aplicaciones típicas :

- Se define la distancia que realiza la cinta transportadora entre una estación y otra, ejemplo control de calidad y embalaje.

## **Transporter**

El modulo Transporter permite la definición de un dispositivo de transporte para el movimiento de la entidad a desde una estación a otra. En este modulo se define la velocidad y la cantidad de transportes para el sistema.

Aplicaciones típicas :

- Velocidad y cantidad de sillas de ruedas que mueven a pacientes entre las áreas de diagnóstico.

### **Distance**

El modulo Distance se utiliza para definir los recorridos entre todas las estaciones que los transportadores de la libre-trayectoria (free path) pueden visitar. En este modulo se definen las distancias entre dos estaciones.

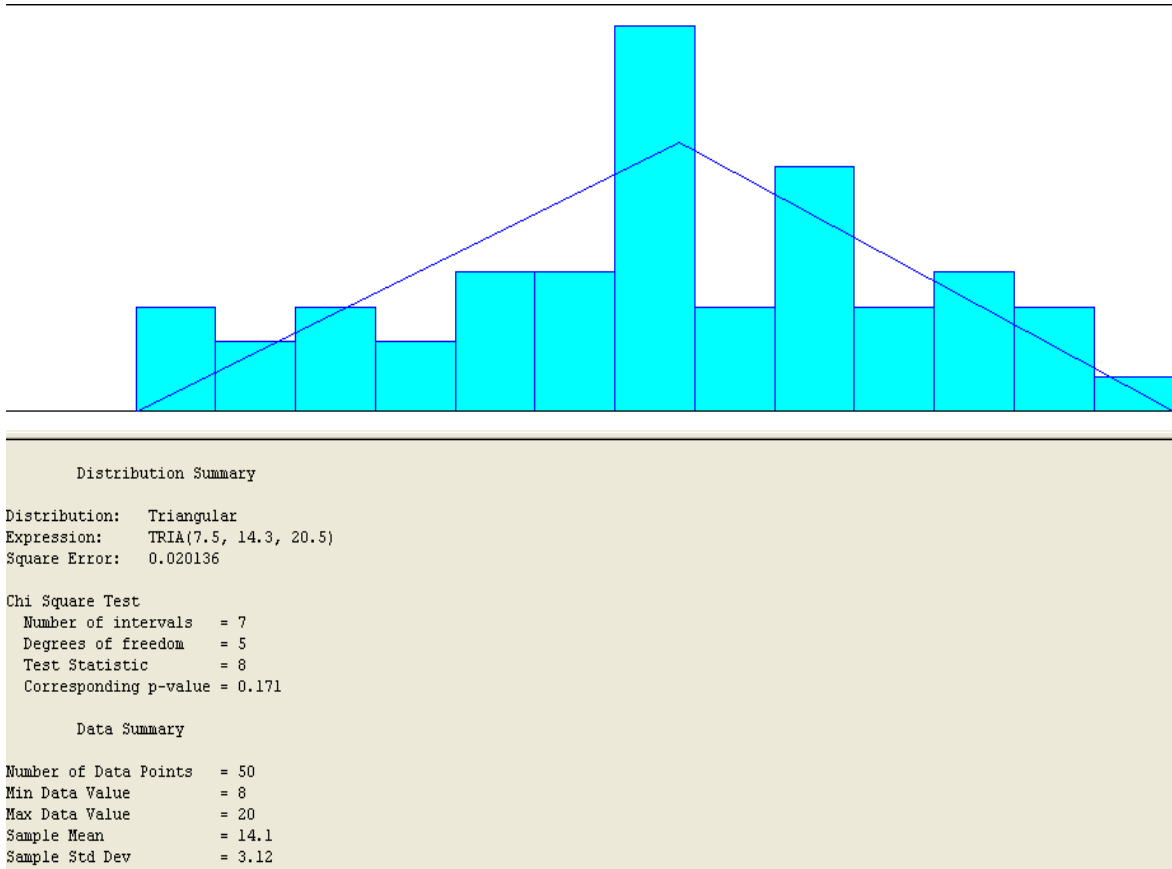
Aplicaciones típicas :

- Define la distancia de una carretilla que viaja entre estaciones.

## Anexo B: Distribuciones de los distintos Procesos

### Distribuciones Dimensionado:

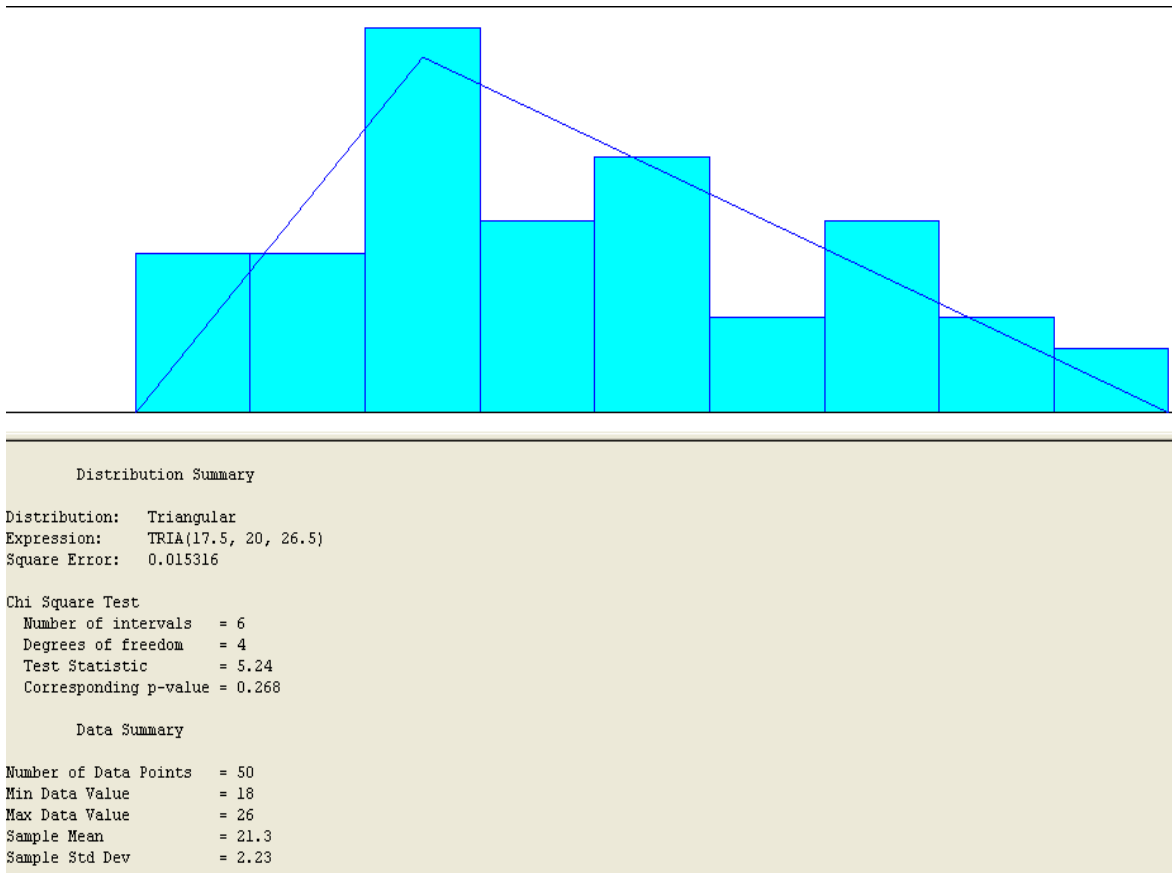
#### Paneles Desnudos:



Se puede apreciar que obtiene un valor-p de 0.171, por lo tanto se puede decir que los 50 datos se aproximan a una distribución Triangular con parámetros 7.5, 14.3 y 20.5 segundos.

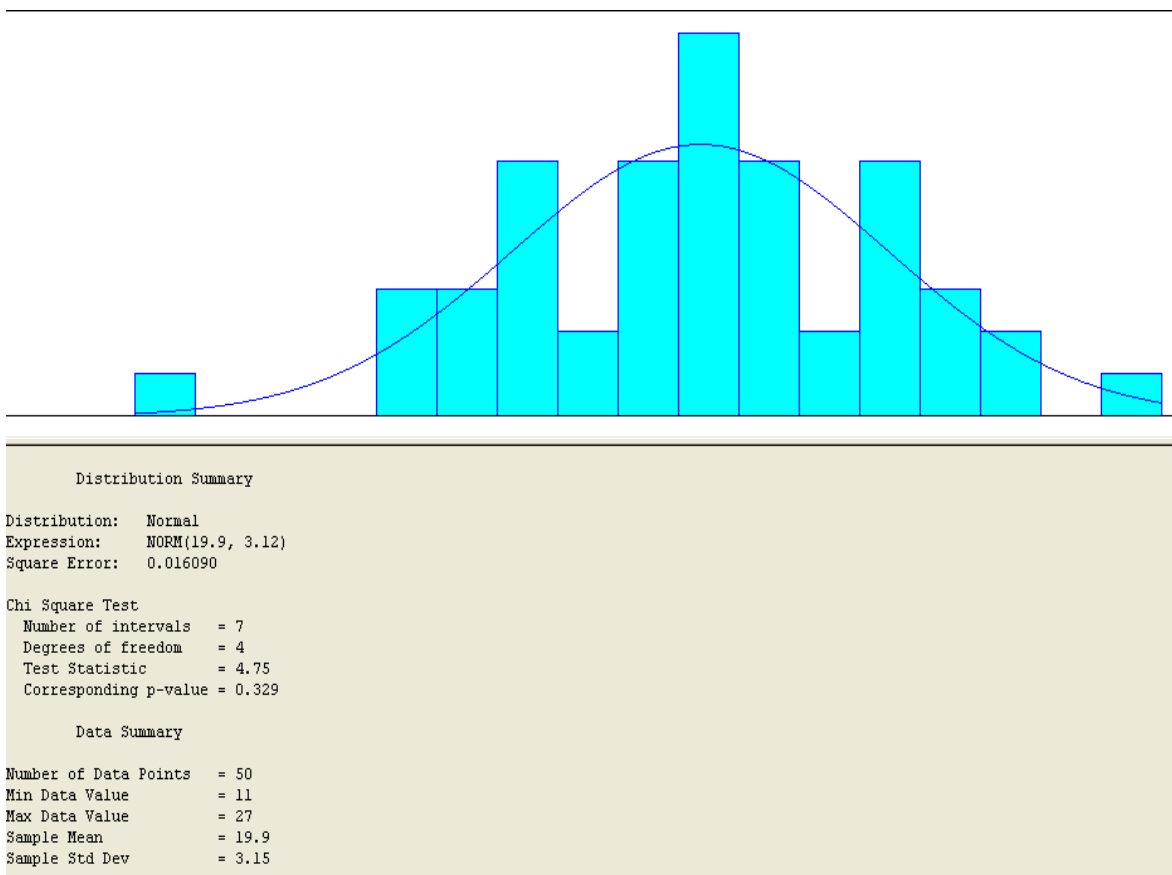


## Paneles Recubiertos:



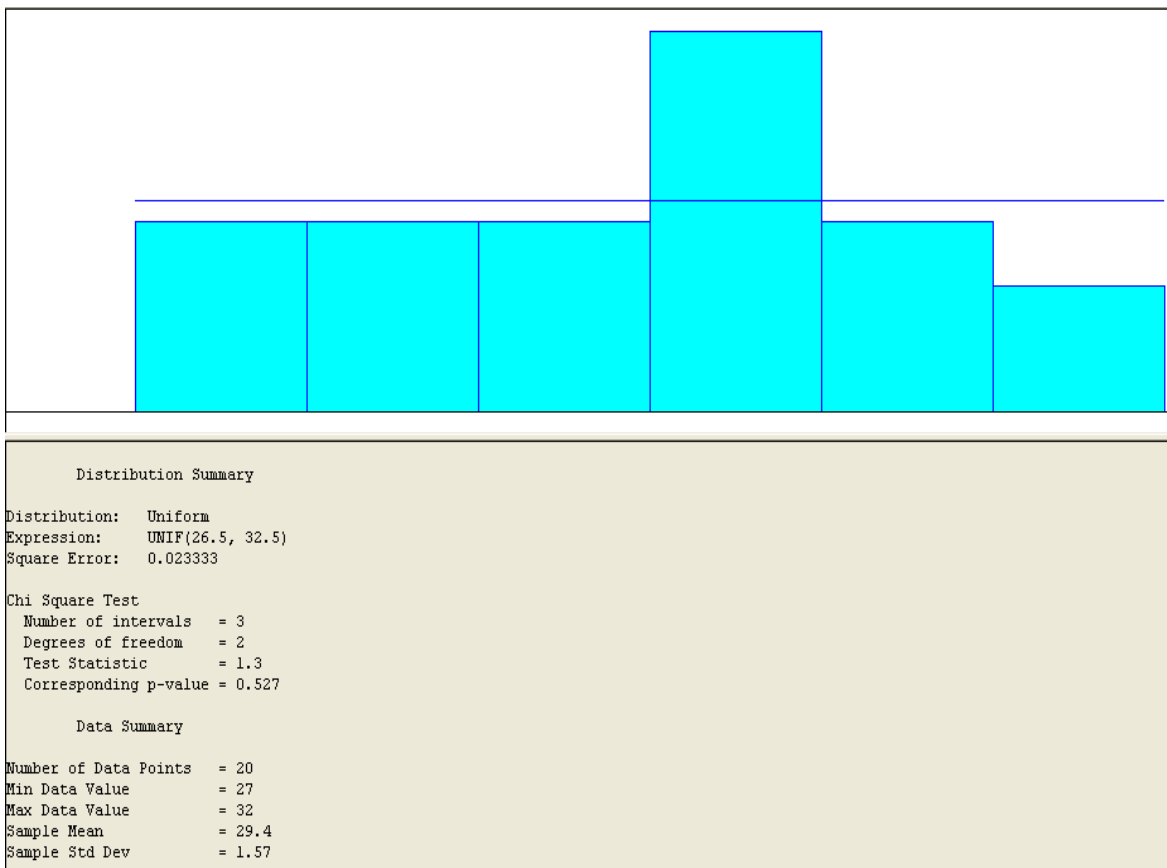
Se puede apreciar que obtiene un valor-p de 0.268, por lo tanto se puede decir que los 50 datos se aproximan a una distribución Triangular con parámetros 17.5, 20 y 26.5 segundos.

## Distribución Retape:



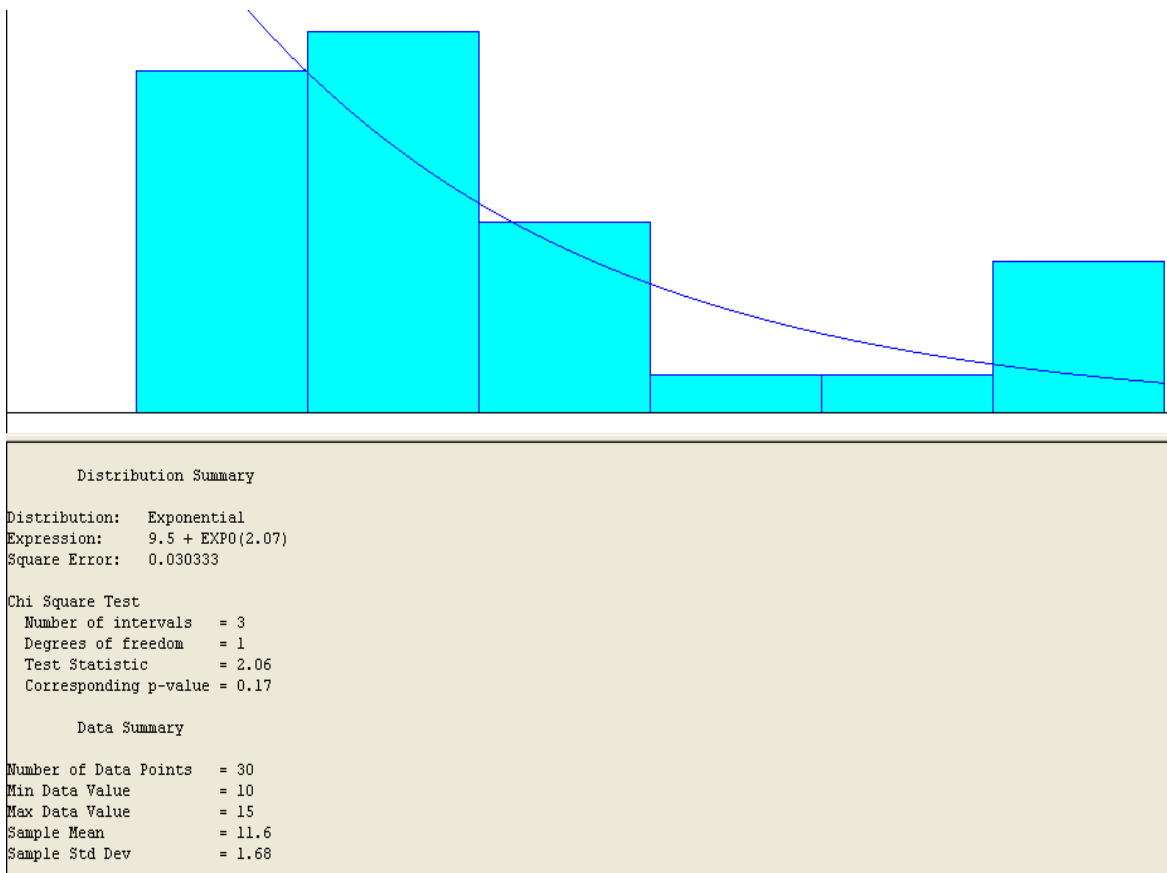
Se puede apreciar que obtiene un valor-p de 0.329, por lo tanto se puede decir que los 50 datos se aproximan a una distribución Normal con parámetros 19.9 y 3.12 segundos.

## Distribución Volteadora:



Se puede apreciar que obtiene un valor-p de 0.527, por lo tanto se puede decir que los 20 datos se aproximan a una distribución Uniforme con parámetros 26.5 y 32.5 segundos.

## Distribución Lijado:



Se puede apreciar que obtiene un valor-p de 0.17, por lo tanto se puede decir que los 30 datos se aproximan a una distribución exponencial con parámetro de 2.07 segundos si se parte de un origen definido como 9.5 segundos.

**Distribución de falla:**

Dado que las fallas es un elemento poco frecuente, es demasiado complicado su muestreo, por lo tanto se tuvo que inspeccionar las bases de datos existentes y se converso con el Ingeniero Carlos Bon (Jefe de Planta), para llegar a un acuerdo en los tiempos que duran las fallas y la cotidianidad con las que suceden.

**Falla por mantención:**

Esto sucede solo en Prensa, ya que es la única estación donde se realiza mantención, las otras estaciones son reparadas en el momento en que fallan. En el caso de lijado no se toma un tiempo de falla, ya que se trabaja solo en 2 turnos, por lo tanto esta maquina esta desocupada bastante tiempo como para que su mantención se lleve a cabo en dicho intervalo de tiempo.

Luego la mantención en prensa se realiza cada 15 días y duro aproximadamente 8 horas, por lo tanto se estimo que el tiempo de mantención podría asemejarse a un distribución normal con una media de 8 horas y una distribución estándar de 1 hora.

Falla por comienzo de labores y por colación:

Se estimo que se el tiempo se asemeja a una distribución normal con media de 28 minutos y desviación estándar de 2 minutos.

Falla Dimensionado:

En este proceso se estimo que existe un tipo de falla que sucede cada 2 días por la calibración que se debe hacer a la maquina cuando se cambia de productos.

Luego se estimo que el tiempo se distribuía de forma normal con media de 3 horas y desviación estándar de 1 hora.

## Anexo C: Calculo del numero de replicas

Se utilizo la siguiente ecuación:

$$N = \left[ \frac{S * t_{n-1, 1-\alpha/2}}{\epsilon} \right]^2$$

Donde:

N= número de réplicas

S= Desviación estándar de la muestra piloto = 1062.30 para 10 muestras

t= Valor crítico de la distribución t para n = 10, luego t=1.833 con 95%

ε= Nivel de precisión del Intervalo de Confianza (ancho) = 500 tableros

Luego:

$$N = \left[ \frac{1062.30 * 1.833}{500} \right]^2$$

N = 15.16 ≈ 16 Replicas.