



## **Propuesta de mejora del proceso productivo del área de preparación de materia prima de la empresa Block & Cutstock usando la simulación como herramienta de apoyo para la toma de decisiones**

Iván Díaz Navarrete - ivandiaz2007@gmail.com  
Cristóbal Garrido Campos - cristo.garrid@gmail.com

Profesor Guía: Rodrigo Linfati Medina - rlinfati@ubiobio.cl

### **RESUMEN**

El presente trabajo se desarrolló en la empresa Block & Cutstock S.A. Empresa de remanufactura del área forestal ubicada en la comuna de San Pedro, camino a Coronel.

En los últimos años la empresa ha sostenido un crecimiento y desarrollo constante que ha ido de la mano con el aumento de las notas de venta, pero lamentablemente se han encontrado con el problema de no poder cumplir con los pedidos en los tiempos establecidos y en las cantidades requeridas. Debido al problema anterior, en el presente estudio se aplicó la simulación y se demostró que es una herramienta válida como herramienta de mejora continua y de apoyo para la toma de decisiones, permitiendo así aprovechar de mejor manera los recursos que interactúan en el sistema, así como herramienta de mejora continua que permite mejorar la eficiencia y eficacia del sistema modelado.

Se entiende el concepto general de simulación como el proceso de modelar un sistema real para poder realizar experimentos sobre el modelo y así poder inferir sobre el comportamiento y desempeño del sistema bajo estudio. Bajo este concepto y a través de la toma y análisis de los tiempos de proceso, tiempos de funcionamiento, tiempos de detención de las máquinas, así como las características principales de los elementos que conforman el sistema productivo del área de preparación de materia prima de dicha empresa, se construyó el modelo del sistema real utilizando para ello el software de simulación FlexSim. En dicho sistema se propusieron, crearon y analizaron nuevos escenarios con la finalidad de obtener los resultados en cuanto a la producción en metros lineales de Blanks y poder compararlos con la producción del modelo original así como entre los escenarios propuestos. Todo esto, sin la necesidad de intervenir en el sistema real.

En el análisis de cada escenario propuesto se observó una clara mejora en la producción de metros lineales de Blank en comparación con el modelo original, así como una mejora en el factor de utilización de las máquinas que constituyen el sistema modelado.

Con esto se pudo demostrar que el uso de la simulación en los procesos productivos es válido y muy útil a la hora de tomar decisiones importantes sobre el sistema, ya que se puede saber de antemano cuál será el comportamiento del sistema antes de ser intervenido.

**Palabras Claves:** Simulación, soporte a la toma de decisiones, remanufactura forestal



## INTRODUCCIÓN

Block & Cutstock S.A. es una sociedad anónima cerrada, que lleva en el mercado de los productos de Pino Radiata 17 años de vida.

La compañía en sus inicios se dedicó principalmente a la producción de Blocks y Cutstocks con una capacidad de 5 contenedores mes, que atendía al mercado nacional, en su mayoría empresas de trading.

Posteriormente y con el objetivo de llegar a nuevos mercados y con nuevos productos, la empresa invierte en nuevas maquinarias como; optimizador con scanner y trozadores automáticos, paneleras RF y lijadoras entre otras máquinas, lo que se tradujo en ampliar la capacidad de producción entre 40 a 60 contenedores por mes.

Su principal línea de productos son: Madera clear, Cutstock, partes y piezas de muebles, molduras finger Joint, marcos de puerta, tableros y paneles.

La empresa se encuentra distribuida en 100 acciones, estructurándose de la siguiente forma:

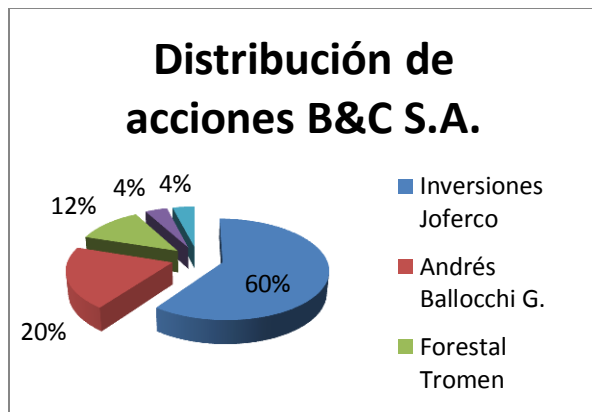


Figura 1: Distribución de acciones B&C S.A.

Fuente: [www.bycsa.cl](http://www.bycsa.cl)

En los últimos años la empresa ha tenido un crecimiento sostenido y constante que ha ido de la mano con el aumento de las notas de venta, lamentablemente en la actualidad no ha podido cumplir de forma oportuna a los requerimientos de los clientes ya sea en los tiempos solicitados como en las cantidades requeridas, teniendo la capacidad productiva. Por tal razón la empresa ha estado

buscando herramientas de mejora continua que ayuden a mejorar la producción del sistema.

Dado lo anterior se propone evaluar propuestas de mejora de la producción en el área de preparación de materia prima utilizando para este propósito la simulación como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

## Objetivo General

Evaluar propuestas de mejora de la producción en el área de preparación de materia prima utilizando para este propósito la simulación como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

## Objetivos específicos

- Recolectar y analizar los datos de tiempos de proceso, tiempos de detenciones, tiempos de Set-Up, velocidad de avance y distancias entre procesos con la finalidad de analizar la situación actual a través del software de simulación FlexSim y proponer mejoras.
- Construir y validar el modelo del sistema corriéndolo con la herramienta de FlexSim “Experimenter” de tal forma que la producción de cada proceso que interviene en el modelo sea lo más similar a la producción real de cada proceso que interviene en el sistema.
- Identificar las cargas de trabajo de cada proceso del sistema en estudio.
- Identificar el cuello de botella del sistema en estudio.
- Construir distintos escenarios y analizar la producción en cada proceso del sistema así como las cargas de trabajo en cada uno.



## MARCO TEÓRICO

Las herramientas que apoyan la planificación de procesos están jugando un rol cada vez más importante para asegurar que un sistema exitoso pueda ser diseñado en el período de tiempo más corto posible. Una de estas herramientas, que ha estado ganando rápida aceptación y que ha demostrado ser efectiva en el diseño y prueba del rendimiento de sistemas es la simulación.

La simulación se ha vuelto un procedimiento estándar en muchas compañías al momento de planear un cambio en la cantidad o en los procesos de producción, utilizándola para construir modelos computacionales de sistemas antes de implementarlos en el mundo real. Muchos de los contratiempos que frecuentemente se hallan al momento de implantar un nuevo sistema pueden ser alejados usando la simulación. La simulación permite visualizar un sistema en operación y claramente demostrar la habilidad o impotencia del sistema para lograr los objetivos de rendimiento exigido.

### Etapas en el estudio de la Simulación:

- Formulación del problema.
- Colección de datos y definición del modelo conceptual.
- Validación del modelo conceptual.
- Construcción del modelo computacional y verificación.
- Validación del modelo computacional.
- Diseño de experimentos.
- Experimentación.
- Análisis de resultado.
- Documentación, presentación e implementación de los resultados

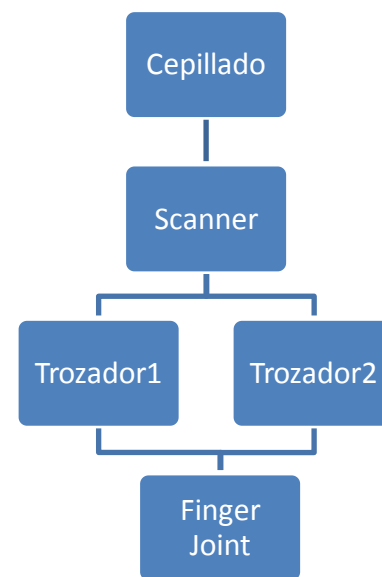
### Proceso en estudio

El proceso de remanufactura de la empresa Block & Cutstock consiste en una primera etapa, la cual es la preparación de materia prima. Sistema de producción en línea que consta de 4 procesos.

- El primer proceso que se le aplica a la madera que llega al sistema es el cepillado, proceso que da un pequeño desbaste a la madera en sus 4 caras (ancho y espesor) con la finalidad de dejar un ángulo de 90° entre sus caras y así esta

pueda deslizarse de forma uniforme sobre el resto del proceso productivo.

- En un segundo proceso, la madera es escaneada para poder identificar los desperfectos que posea según los requerimientos del producto final a procesar. Los datos que entrega el scanner sobre cada pieza de madera son almacenados en una base de datos que posteriormente procesará y llevará a cabo el siguiente proceso que es el de trozado.
- En el tercer proceso que es trozado, los trozadores automáticos reciben las coordenadas o longitudes de corte de cada pieza de los datos que entregó el proceso anterior. En este proceso se obtienen los Cutstocks (piezas de largo fijo) y los blocks (piezas de largo variable). Estos últimos son conducidos al siguiente proceso de unión finger Joint.
- El cuarto y último proceso del área de preparación de materia prima consiste en unir los blocks a través de uniones tipo finger los cuales dan origen a los Blanks (piezas de un largo x, que posee n cantidad de blocks) (**Figura 2**).



**Figura 2: Área de preparación de materia prima de la empresa Block & Cutstock**

**Fuente: Elaboración propia**



**Datos recopilados para el análisis.**

Para la realización del modelo de simulación se necesitaron varios grupos de datos, como son: tiempos entre fallas, tiempos de reparación, tiempos de procesos, velocidades de transporte, metros lineales de producción, entre otros.

Para poder realizar una comparación entre lo que se tiene y lo que se propone, se requirió de los metros lineales de productividad de cada máquina.

La (Figura 3) muestra la producción real de las dos primeras semanas de trabajo del mes de Agosto de 2013, mientras que la (Figura 4) muestra los valores estadísticos que permitieron validar el sistema real con el modelo.

Día	Cepillado	Trozado	Finger
1	21.761	17.775,48	18.221
2	23.910	20.180,04	15.841
3	24.835	20.960,74	13.633
4	23.105	19.041,48	18.117
5	21.685	17.740,04	13.117
6	26.654	22.272,32	16.938
7	21.712	18.324,93	16.797
8	24.791	20.923,6	15.432
9	28.045	23.669,98	16.114
10	30.588	10.457,16	6.819
11	23.071	25.774,92	17.083
12	35.091	19.474,46	13.426
13	28.490	29.616,8	24.923
14	26.192	23.515,53	18.301
15	12.886	21.704,3	19.752

**Figura 3: Producción diaria real, año 2013.**  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos internos B&C.S.A.

	Cepillado	Trozado	Finger
Recuento	15	15	15
Media	24.854,87	20.762,12	16308,4
Varianza	24.711.151,41	18.424.181,44	15.301.865,4

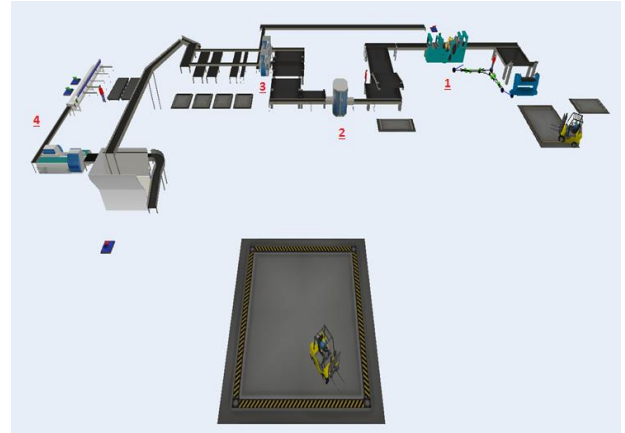
**Figura 4: Resumen estadístico del sistema real.**  
Fuente: Elaboración propia

Luego de Recopilar todos los datos necesarios, se procedió a construir el modelo computacional del sistema (Figura 5).

1. Cepillado
2. Scanner
3. Trozado
4. Finger

**Validación del modelo computacional**

Una vez construido el modelo se procedió validarlo, para esto se realizó una corrida piloto con la herramienta de FlexSim llamada Experimenter, lo que arrojó los siguientes datos de producción (Figura 6)



**Figura 5: Perspectiva general del modelo.**  
Fuente: Elaboración propia



	Cepillado	Trozado	Finger
Producción	24.265,43	20.219,31	17.305,02

**Figura 6: Resultados de producción del modelo.**  
Fuente Elaboración propia

Para la validación es necesario realizar la prueba de hipótesis que según (Devore, 2001), es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 H_0: \mu_1 - \mu_2 &= 0 \\
 H_0: \mu_1 - \mu_2 &\neq 0 \\
 \text{Criterio de rechazo de } H_0: & \\
 |t_0| &> t_{(\frac{\alpha}{2}, v)}
 \end{aligned}$$

	Cepilladora	Trozadores	Finger
$t_0$	0,44	0,48	0,98
$t_{(\alpha/2;v)}$	2,11	2,12	2,13

**Figura 7: Resultado prueba de hipótesis.**

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la (Figura 7) para cada proceso  $t_0 < t_{(\alpha/2;v)}$ , por lo tanto el modelo es

válido, lo que quiere decir que el modelo se comporta estadísticamente como el sistema. Dado lo anterior es posible realizar cambios al modelo y analizar sus resultados para posteriormente aplicarlos al sistema real.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

**Análisis de modelo original y escenarios propuestos.**

- **Escenario original**

Luego de correr 10 réplicas del modelo original con un tiempo de 32.400 segundos, correspondientes a un turno de trabajo de 9 horas cada uno, se identificó el cuello de botella para poder generar una primera propuesta de mejora. Como se observa en la (Figura 8), que muestra las cargas de trabajo de cada proceso, se puede observar que el proceso de unión Finger es el proceso que pasa mayor tiempo procesando que el resto, con un 94%, lo que quiere decir que este proceso es el cuello de botella del sistema.

Proceso	Improductivo	Procesando	Descompuesto	Juntando	Bloqueado
Cepillado	3,8 %	48,3 %	48 %	-	-
Scanner	54,7 %	41,5 %	-	-	3,8 %
Trozador 1	34,8 %	65,2 %	-	-	-
Trozador 2	39,7 %	60,3 %	-	-	-
Finger 1	-	94,5 %	-	5,5 %	-

**Figura 8: Resultado de cargas de trabajo del escenario original.**

Fuente: Elaboración Propia



La (Figura 9) muestra la producción el escenario original en metros lineales.

Proceso	Escenario original
Cepillado	24.265,43
Trozado	20.219,31
Finger	17.305,02

**Figura 9: Resultados de producción escenario original.**

Fuente: Elaboración propia

Dado el análisis de las cargas de trabajo, y la producción de 17.305,02 metros lineales de Blanks, se propone un primer escenario para poder liberar la carga de trabajo sobre la máquina Finger y poder aumentar la producción de Blanks.

**Escenario N°1:** Agregar una segunda Finger en paralelo a la existente.

**Escenario número uno.**

Considerando que se identificó una sobrecarga en el proceso de unión Finger lo que lo define como el cuello de botella del sistema, se agregó una segunda máquina Finger de las mismas características para analizar los resultados de la producción del sistema, los resultados fueron los siguientes.

Proceso	Escenario original	Escenario 1
Cepillado	24.265,43	24.265,43
Trozado	20.219,31	20.219,31
Finger	17.305,02	20.836,43

**Figura 10: Resultados de producción escenario número uno.**

Fuente: Elaboración propia

Proceso	Improd activo	Procesan do	Descom puesto	Juntan do	Bloque ado
Cepillado	3,8 %	48,3 %	48 %	-	-
Scanner	54,7 %	41,5 %	-	-	3,8 %
Trozador 1	34,8 %	65,2 %	-	-	-
Trozador 2	39,7 %	60,3 %	-	-	-
Finger 1	-	59,2 %	-	40,8 %	-
Finger 2	-	59,2 %	-	40,8 %	-

**Figura 11: Resultado de carga de trabajo escenario número uno.**

Fuente: Elaboración Propia

**Análisis.**

Se puede observar que agregando una segunda máquina Finger, aumenta la producción de Blanks en un 20.1 % con respecto al modelo original y se libera la carga de trabajo en el proceso de unión Finger del modelo original al distribuirla entre dos máquinas.

En cuanto a la incorporación de una nueva máquina Finger se pueden proponer dos alternativas:

- Como primera alternativa podría utilizarse una máquina marca Weinig Modelo HS-120 existente en la empresa la cual no está unida al sistema en línea y no siempre está en funcionamiento, esta máquina trabaja uniendo Blocks cortos o con defectos para la fabricación de productos secundarios. Con una mejor programación podría unirse al sistema en los tiempos en que se encuentra disponible y así mejorar la producción del sistema en línea.
- La segunda alternativa es adquirir una segunda máquina Finger de las mismas características que la existente en el sistema, una Finger HS-180 marca Weinig con una inversión aproximada de US\$ 200.000

En cuanto a las cargas de trabajo, se puede observar que los trozadores poseen la mayor carga de trabajo y las máquinas finger tienen capacidad productiva, por lo tanto se propone un tercer trozador con la finalidad de aumentar el factor de utilización de las máquinas Finger y la producción de Blanks.

**Escenario N°2:** Tres Trozadores y dos Finger.





**Escenario número dos**

Al analizar los resultados del escenario número dos, los resultados son los siguientes.

Proceso	Escenario original	Escenario 1	Escenario 2
Cepillado	24.265,43	24.265,43	24.612,04
Trozado	20.219,31	20.219,31	24.845,15
Finger	17.305,02	20.836,43	23.935,33

**Figura 12: Resultados de producción escenario número dos.**

**Fuente: Elaboración Propia**

	Improductivo	Procesando	Descompuesto	Junta	Bloqueado
Cepillado	5,1 %	46,2 %	48,7 %	-	-
Scanner	60,2 %	39,8 %	-	-	-
Trozador 1	59,4 %	40,6 %	-	-	-
Trozador 2	76,6 %	23,4 %	-	-	-
Trozador 3	46,8 %	53,2 %	-	-	-
Finger 1	-	66,7 %	-	33,3 %	-
Finger 2	32,1 %	63,9 %	-	4 %	-

**Figura 13: Resultado de carga de trabajo escenario número dos**

**Fuente: Elaboración Propia**

**Análisis.**

Se puede apreciar que al agregar un tercer trozador, aumenta la producción de Blank en un 14, 87% en comparación con el escenario número dos y en un 38.98% en comparación con el modelo original. En cuanto a las cargas de trabajo, aumenta el factor de utilización de las máquinas

Proceso	Escenario original	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Cepillado	24.265,43	24.265,43	24.612,04	39.736,62
Trozado	20.219,31	20.219,31	24.845,15	37.520,72
Finger	17.305,02	20.836,43	23.935,33	24.888,6

**Figura 14: Resultados de producción escenario número tres.**

**Fuente: Elaboración Propia**

Finger, lo que se ve reflejado en la producción y disminuye el factor de utilización de los trozadores al repartir en tres la carga de trabajo. El proceso de Cepillado se mantiene sin grandes cambios.

En cuanto a la incorporación de un tercer trozador, se propone la adquisición de un trozador automático de iguales características a los existentes, trozador optimizador marca Weinig modelo Opticut 450 con una inversión de US\$ 80.000

En la (figura 13) que muestra las cargas de trabajo, se observa que el cuello de botella se trasladó al proceso de unión Finger, pero también se observa que aún tienen capacidad de producción. Se detecta que la máquina Cepilladora pasa aproximadamente un 48% del tiempo detenida por estar descompuesta.

Por lo tanto, se propone un tercer escenario en la cual los tiempos improductivos se eliminan ya sea a través de una mejora en la máquina o un cambio de ella.

**Escenario N°3:** Tres Trozadores, dos Finger y la eliminación del tiempo muerto de la Cepilladora.

**Escenario número tres**

Luego de correr el escenario número tres, los resultados son los siguientes.







	Improductivo	Procesando	Descompuesto	Juntando	Bloqueado
Cepillado	22,8 %	77,2 %	-	-	-
Scanner	33,7 %	66,3 %	-	-	-
Trozador 1	26,9 %	73,1 %	-	-	-
Trozador 2	56,9 %	43,1 %	-	-	-
Trozador 3	21,2 %	78,8 %	-	-	-
Finger 1	-	75,1 %	-	24,9 %	-
Finger 2	31 %	65,9 %	-	3,1 %	-

**Figura 12: Resultado de carga de trabajo escenario número tres.**  
**Fuente: Elaboración Propia**

**Análisis.**

Podemos concluir que eliminando los tiempos en que la máquina Cepilladora pasa descompuesta, la producción de blanks en la máquina finger aumenta en un 3.98% con respecto a la producción del escenario número dos, un 19.45% con respecto al escenario número uno y en un 43.82% con respecto al escenario original. El

**CONCLUSIONES**

- Como es sugerido por su nombre, FlexSim es un software de simulación sumamente flexible, que se adapta muy bien para la simulación de Industrias manufactureras. Al trabajar con objetos altamente parametrizados se acelera la construcción y modificación de los modelos. Esta misma característica a su vez acelera el aprendizaje del programa.
- Al momento de crear un modelo en FlexSim y también al utilizar los objetos para modelar procesos manufactureros, hay que tener en cuenta una serie de detalles sobre el funcionamiento del programa que hace que las animaciones y la recolección de estadísticas en el modelo no sea exacta. Esto hace, que es mejor tomar decisiones aproximada de algo real, que tomar decisiones precisas de algo aproximado.
- Para la realización del modelo, es necesario considerar cual es el objetivo de la simulación, ya que de lo contrario se recolectaran datos que no son relevantes

sistema productivo es más fluido y el cuello de botella queda siendo el proceso de cepillado.

En cuanto a la mejora de la máquina Cepilladora para eliminar los tiempos de detención, se propone evaluar y efectuar un plan de mantenimiento y reacondicionamiento, con un orden de inversión estimado de US\$ 20.000

para el caso, por lo que es necesario realizar un estudio previo o seguir a cabalidad los pasos de la simulación.

- Teniendo en cuenta el sistema simulado, es posible realizar modificaciones tanto de parámetros, como de modificar el Layout de la empresa, entre otras y poder ver su resultado sin la necesidad de esperar un tiempo para confirmarlo.
- Como conclusión referente a la recolección y análisis de datos, se puede comentar sobre la importancia de elegir muy bien las variables a incluir en la construcción y posterior análisis del modelo, de tal manera que los resultados del modelo sean estadísticamente similares a lo reflejado en el sistema real. En el estudio se pudo observar que los resultados de la variable de interés (producción en metros lineales de cada proceso) del modelo son estadísticamente similar a los valores del sistema real.
- En cuanto a la validación, podemos concluir que el modelo construido logró reflejar



estadísticamente lo que sucede en el sistema real, esto debido a que superó las pruebas de hipótesis de diferencias de media según (Devore, 2001).

- Construido y validado el modelo original, a través del análisis de gráficos de torta se logró identificar y analizar las cargas de trabajo de cada proceso y así identificar el cuello de botella del sistema original el cual fue el proceso de unión Finger.
- En cuanto a los escenarios propuestos, se puede observar una mejora en la producción así como una mejor distribución en cuanto a las cargas de trabajo con respecto al modelo original. Para ello se propusieron tres escenarios posibles.
  1. Agregar una segunda Finger.
  2. Dos Finger más tres Trozadores.
  3. Dos Finger más tres Trozadores y eliminación del tiempo muerto de la Cepilladora.

El escenario N°1 incremento la producción en un 20,1 %, pero al hacer esto el porcentaje que la Finger espera por block aumenta, por lo que el cuello de botella se traslada a la etapa de Trozado.

Con el resultado obtenido en este escenario, se propone añadir un tercer trozador de tal forma de eliminar el cuello de botella en esta etapa, pero cuando se realiza esta mejora el porcentaje improductivo de la etapa de trozado se incrementa y al mismo tiempo el tiempo de bloqueo del Scanner se mitiga. Por lo que la producción se incrementa en un 38,98 %.

Con el resultado obtenido con el escenario N°2, se puede deducir que ahora el cuello de botella se traslada a la etapa de Cepillado, por lo que eliminado los tiempos muertos de esta máquina la producción se incrementa en un 43,82 %.

- Cabe mencionar que todavía se pueden realizar mejoras, dado que los cuellos de botella no se eliminan, sino que se

trasladan. Además al ser un modelo computarizado, a este se le pueden hacer y analizar los resultados de una infinidad de combinaciones posibles, ya que es más económico equivocarse y probar en el sistema modelado que en el sistema real.

- Como conclusión final se puede comentar que se lograron entregar propuestas de mejora en el área de preparación de materia prima utilizado la simulación como herramienta de apoyo en la toma de decisiones. Propuestas que aunque mejoran la producción y la distribución de las cargas de trabajo no son únicas y finales, ya que construido y validado el modelo, se pueden efectuar múltiples combinaciones obteniendo distintos resultados. Solo depende de los recursos de la empresa y la capacidad de inversión para ver qué escenario es el más conveniente.



## BIBLIOGRAFÍA

- Anon., 2012. *Corporación Chilena de la madera*. [En línea]  
Available at: <http://www.corma.cl/corma.asp?id=3&ids=81>  
[Último acceso: 04 05 2013].
- Barceló, J., 1996. *Simulación de sistemas discretos*. primera edición ed. Madrid: Isdefe.
- Bermúdez, L. & Carreño, D., 2011. Hacia el uso de la simulación como herramienta para el análisis de proyectos de inversión. *Investigación, desarrollo e innovación*, 1(2), p. 12.
- Concha, P., 2005. *Verificación de parámetros operacionales para la nueva línea de aserrío de CMPC maderas S.A., planta Mulchén, mediante el uso de la simulación*, Concepción: s.n.
- Coss, R., 2003. *Simulación un enfoque práctico*. Primera ed. s.l.:LIMUSA, Noriega editores.
- Devore, J. L., 2001. *Probabilidad y Estadística*. s.l.:s.n.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P., 2003. *Fundación Terras*. [En línea]  
Available at: <http://www.terras.edu.ar/aula/tecnicatura/15/biblio/SAMPIERI-HERNANDEZ-R-Cap-4-Elaboracion-del-marco.pdf>  
[Último acceso: 01 04 2013].
- Law, A. & Kelton, D., 2000. *Simulation Modeling and Analysis*. Third edition ed. s.l.:McGraw-Hill.
- Montolivo, O., 2010. *Simulación de los procesos del té negro, Casa Fuentes Misiones Argentina*, Concepción: s.n.
- Salgado C., H., Chávez R., C. & Quiroga S., M., 2010. *Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo*. [En línea]  
Available at: <http://www.udec.cl/vrid/?q=node/40&codigo=20090490>  
[Último acceso: 04 05 2013].
- Shannon, R. E., 1995. *Simulación de sistemas*. s.l.:Trillas.