

OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION  
DE UNA EMPRESA DE CONTRACHAPADO EN COSTA RICA  
UN EJEMPLO DE INVESTIGACION DE OPERACIONES

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Rafael V. Bornás Huerta



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Ciencias Forestales  
Turrialba, Costa Rica  
Mayo, 1971

OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION  
DE UNA EMPRESA DE CONTRACHAPADO EN COSTA RICA  
UN EJEMPLO DE INVESTIGACION DE OPERACIONES

Tesis


Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados como  
requisito parcial para optar al grado de

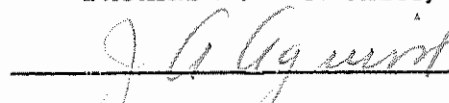
Magister Scientiae

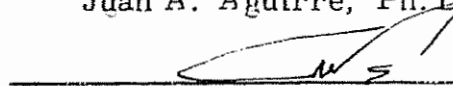
en el

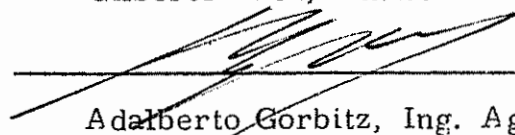
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A.

APROBADA:

  
Consejero  
Thomas A. McKenzie, M. F.

  
Comité  
Juan A. Aguirre, Ph. D.

  
Comité  
Gilberto Páez, Ph. D.

  
Comité  
Adalberto Gorbitz, Ing. Agr.

Mayo, 1971

A mis padres

A mis hijas

A mi hermano

## AGRADECIMIENTO

El autor manifiesta su agradecimiento al Dr. Thomas McKenzie, Consejero Principal, por su constante preocupación y valiosas orientaciones técnicas durante la realización de esta investigación.

A los Dres. Juan A. Aguirre y Gilberto Páez, así como al Ing. Agr. Adalberto Gorbitz, miembros del Comité Consejero, por las sugerencias recibidas.

A la Caribbean Veneer Company S. A., de Costa Rica, por haber facilitado sus instalaciones para la realización de esta investigación; así mismo, al Personal Directivo, Administrativo, Técnico y Obrero de la empresa, por su colaboración.

Al Dr. George Sampson, Economista Forestal de la Southeastern Forest Experiment Station, en Athens, Georgia, E. U. A., por su preocupación y recomendaciones técnicas para el desarrollo de esta investigación, así como por las facilidades ofrecidas para procesar los datos de este estudio en el Centro de Cálculo de la Universidad de Georgia, Athens, Georgia, E. U. A. Así mismo al Dr. Lester Holley, Economista Forestal, del Forest Service, New Orleans, E. U. A., por su contribución en la formación del Modelo de este estudio.

Al Sr. Ministro de RR. EE. del Perú, Genl. Edgardo Mercado Jarrín por sus buenos oficios ante la O. E. A.

A la Organización de los Estados Americanos por haber patrocinado sus estudios de post-gradó.

A la Escuela para Graduados del IICA -CTEI por las facilidades prestadas.

A Lidiette Marín V., como demostración a su aprecio y estímulo constante.

A sus profesores, colegas y amigos que en una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Lima, Departamento de Lima, Perú, el 19 de julio de 1943.

Cursó estudios primarios y secundarios en el Colegio San Luis HH. MM en Barranco, Lima, Perú.

Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Huánuco, "Hermilio Valdizán" en el Departamento de Huánuco, Perú, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1966.

En 1966 ingresó al Servicio Forestal y Caza, del Ministerio de Agricultura del Perú, desempeñándose como Asistente de la Región Forestal de Iquitos, en el Programa de Administración de Bosques, hasta 1967. En abril de 1967 ocupó el cargo de Asistente de la Región Forestal de Cajamarca hasta setiembre del mismo año; desde esa fecha hasta octubre de 1969 ejerció como Asistente de la Región Forestal de Huanca-  
yo, para el Programa de Forestación y Reforestación, respectivamente.

En octubre de 1969 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. en Turrialba, Costa Rica, como estudiante del Departamento de Ciencias Forestales y obtuvo el grado de Magister Scientiae en mayo de 1971.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. El bosque y la industria forestal de transformación de Costa Rica.....	3
2.2. La industria de contrachapado en Costa Rica.....	4
2.3. Manejo y análisis de la industria de contrachapado	4
2.4. Un modelo de aplicación de la programación lineal	6
2.4.1. Aplicación de la programación lineal a la empresa de contrachapado.....	7
2.4.2. Formulación del Modelo de programación lineal.....	10
3. MATERIALES Y METODOS.....	13
3.1. Localización y características de la empresa de contrachapado en estudio: procesos y limitaciones	13
3.2. Modelo de análisis de la empresa: Diseño Matriz	15
3.3. Colección de datos.....	19
3.3.1. Volumen y tendencia de producción de la empresa.....	19
3.3.2. Identificación de los insumos.....	20
a. Recursos físicos: trozas.....	20
b. Insumo horario: tiempo.....	20
3.3.3. Medida de los flujos de insumos.....	22
a. Cubicación y disponibilidad de trozas	22
b. Medida de conversión chapa/troza....	24
c. Medida del tiempo, por operaciones	26
3.3.4. Construcción, prensado y calificación de paneles.....	30
3.3.5. Costos de trozas y precios de los produc- tos finales.....	33

	Página
3.4. Análisis Estadístico.....	34
3.5. Programación Lineal de los Insumos.....	35
3.6. Programación Lineal de las Actividades Optimas..	35
4. RESULTADOS.....	37
4.1. Análisis de la información primaria.....	37
4.1.1. Análisis de los recursos físicos: trozas...	38
4.1.2. Análisis de los insumos horarios: por operación.....	42
4.1.2.1. Tiempo de labor.....	42
4.1.2.2. Tiempo de conversión chapa/ troza.....	44
4.1.2.3. Tiempo de secado de chapas...	44
4.1.2.4. Tiempo de prensado.....	47
4.2. Optimización de la producción de la empresa....,	48
4.2.1. La Solución Básica.....	51
4.2.2. La Solución Óptima.....	52
4.2.3. Análisis comparativo de los resultados obtenidos.....	55
5. DISCUSION.....	67
6. CONCLUSIONES.....	76
7. RESUMEN.....	78
8. SUMMARY.....	81
9. LITERATURA CITADA.....	83
10. APENDICE.....	86



## LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Página</u>
1 Industrias básicas de transformación forestal en Costa Rica, 1967.....	3
2 Distribución porcentual del consumo de madera aserrada por las industrias derivadas en Costa Rica, 1967.....	3
3 Estándares de conversión chapa/troza.....	24
4 Construcción de paneles; requerimientos y número de combinaciones posibles para construir un mismo panel.,.....	31
5 Capacidad de prensado.....	32
6 Precios de venta para cada tipo de panel (en colones, Costa Rica).....	34
7 Coeficientes de conversión chapa/troza-especie (valores absolutos p <sup>2</sup> /pt).....	41
8 Coeficientes de conversión chapa/troza-especie (valores porcentuales).....	42
9 Medidas del tiempo promedio/día, por operación	43
10 Coeficientes de tiempo de desenrollo (minutos/1000 pt).....	44
11 Superficie de secado aprovechada, en el secador	45
12 Tiempo de secado, por "carrera de secado" (minutos).....	46
13 Coeficientes de tiempo de secado, por cada 1000 p <sup>2</sup> de chapa (minutos)	47
14 Tiempos y coeficientes de prensado, para cada tipo de panel.....	47

<u>Cuadro</u>	<u>Página</u>
15 Solución Básica: respuesta de producción, 1969-70	52
16 Optimización de la producción bajo los supuestos del Criterio 1.....	53
17 Optimización de la producción bajo los supuestos del Criterio 2.....	55
18 Análisis comparativo de operaciones: Solución Básica, Criterio 1 y Criterio 2.....	58
19 Análisis económico compartivo: Solución Básica Criterio 1 y Criterio 2.....	58
20 Uso de las capacidades de instalación: Solución Básica, Criterio 1 y Criterio 2.....	59
21 Optimización de la producción de la empresa bajo los supuestos del Criterio 3.....	69
22 Optimización de la producción de la empresa bajo los supuestos del Criterio 4.....	70
23 Análisis comparativo de operaciones; Criterio 3 y Criterio 4.....	72
24 Uso de las capacidades de instalación: Criterio 3 y Criterio 4.....	71
25 Análisis económico compartivo de las Soluciones Optimas.....	73

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Secuencia de producción de la fábrica de contrachapado.....	14
2	Diseño básico del Modelo de Programación Lineal.....	18
3	Distribución anual: trozas observadas y esperadas (en cantidad y especie).....	40
4	Matriz de la Programación Lineal de los Insumos de la empresa.....	49

## 1. INTRODUCCION

La industria forestal de América Latina se presenta como un conjunto de unidades de operación, en su mayoría con dificultades en sus actividades de procesamiento, elevado número de productos específicos y descuidos en las calidades producidas y en su reputación ante el mercado de competencia. La escasa preocupación de las empresas por el control ordenado de las actividades involucradas en la producción y el desperdicio de las capacidades instaladas, certifican el decaimiento de la productividad de la industria forestal (20).

Las actividades de producción de una industria se hacen cada día más complejas debido al avance de la tecnología y la especialización que sugieren cambios en los sistemas tradicionales de manejo. Este trabajo se concreta al análisis de una empresa de contrachapado con problemas en la utilización de sus disponibilidades físicas y en la administración de su producción. Para enmendar estas dificultades se necesita de un sistema o modelo que contemple que el bajo nivel de producción de la empresa, traducido en un mal aprovechamiento de su capacidad instalada, puede ser regulado a un nivel técnicamente factible y económicamente deseable, mediante una optimización del proceso de producción de la empresa, aplicando Programación Lineal.

El objetivo de esta investigación es la optimización del nivel de ingreso neto de una empresa de contrachapado, en Costa Rica.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. El bosque y la industria forestal de transformación en Costa Rica

En 1966, se estimó que Costa Rica posee el 47,9% (24,3 mil  $\text{km}^2$ ) de su área territorial con formaciones boscosas naturales, pertenecientes al tipo higrofitico ecuatorial y distribuidas en las regiones pluviosas de la costa Pacífica y la costa Atlántica principalmente. Los bosques de Costa Rica son caracterizados por asociaciones heterogéneas de especies frondosas que contribuyen al potencial de recursos del país con aproximadamente 285 millones de metros cúbicos de madera en pie ( $117 \text{ m}^3 \times \text{ha}$ ). En la actualidad la madera comercial, aproximadamente representada por unas 11 especies valiosas: fruta dorada (Virola spp.), caobilla (Guarea spp.), lechoso (Brosimum sp), cenizaro (Pithecellobium sp.), cocobola (Dalbergia sp.), laurel (Cordia alliodora), guanacaste (Enterolobium sp.), caoba (Swietenia spp.), cativo (Prioria sp.), cedro (Cedrela spp.), cristóbal (Platymiscium sp), constituye el 14% ( $17 \text{ m}^3 \times \text{ha}$ ) del potencial total del bosque (14, 20).

La industria forestal en Costa Rica desarrolla actividades de extracción, conversión primaria, intermedia y final, transporte y comercialización de los productos del bosque. Actualmente las industrias básicas de aserrío y contrachapado — con capacidades de producción instaladas de 536 mil  $\text{m}^3/\text{año}$  y 34 mil  $\text{m}^3/\text{año}$ , respectivamente — son las que caracterizan la actividad de transformación forestal de Costa Rica (15).

y coadyuvan al sostenimiento de actividades derivadas: construcción civil, mueblerías, cajonerías, durmientes, carrocerías de madera, jugueterías, tablas para puentes y construcciones marinas. (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Cuadro 1. Industrias básicas de transformación forestal en Costa Rica, 1967.

Industria	Unidades de Operación	Capacidad Instalada Potencial (mil m <sup>3</sup> /año)	Aprovechada (%)	Producción (mil m <sup>3</sup> /año)
Aserrío	207	536,00	68,56	367,50
Contrachapado	2	34,00	66,66	22,65

Fuente: Joyce, A. T. (15)

Cuadro 2. Distribución porcentual del consumo de madera aserrada por las industrias derivadas en Costa Rica, 1967.

Industria	Porcentaje
Construcción civil	85,4
Mueblería	8,6
Cajonería	1,5
Durmientes	1,5
Carrocerías de madera	1,3
Juguetería	1,0
Tablas para puentes	0,5
Construcciones marinas	0,2
Total	100,0

Fuente: Joyce, A. T. (15)

## 2.2. La industria de contrachapado en Costa Rica.

La industria de contrachapado en Costa Rica se inicia en 1960. Entre 1960-1967 se establecen dos empresas de contrachapado cuya producción combinada para 1967 fué de 22,65 mil m<sup>3</sup>, equivalente a un 66,66% de sus capacidades instaladas (15).

El consumo de contrachapado en Costa Rica se ha ido elevando paulatinamente, desde 0,53 m<sup>3</sup>/1000 cápita en 1957 – en que se importaba – hasta 5,96 m<sup>3</sup>/1000 cápita en 1963, tres años después de establecerse la primera empresa. En el período de 1964-1967 por efecto de la producción combinada de la industria local, reducción de las importaciones, protección del producto nacional y la entrada de Costa Rica al Mercado Común Centroamericano se elevó el nivel de consumo a 10,1 m<sup>3</sup>/1000 cápita, igualando el nivel promedio mundial estimado por FAO para 1960-1962. Sobre la suposición de que el consumo per cápita de Costa Rica incrementará en la misma tasa que el promedio de consumo calculado para el mundo, se estiman 19,4 m<sup>3</sup>/1000 cápita de consumo para 1975 (15).

## 2.3. Manejo y análisis de la industria de contrachapado.

Ramsing, Sampson y Fasick (19, 24) indican en sus estudios, que observaron resultados sub óptimos en la mayoría de empresas, donde las decisiones de producción de sus administradores son rutinarias, debido a las limitaciones con que tropiezan para establecer el mejor nivel de combinación de sus recursos disponibles y los requerimientos de la empresa.

Faux (10) hace hincapié que uno de los problemas más serios en la manufactura de contrachapado es la determinación de la combinación óptima de producción, a partir de los insumos disponibles, debido al alto nivel de complejidad que ha alcanzado la industria, lo cual limita la capacidad de cálculo del hombre, para escoger la mejor alternativa. Agrega además, que el manejo de los niveles alternativos que convienen a la empresa, técnica y económicamente, toman una dimensión geométrica que exige de un modelo de análisis que trate toda la secuencia de la transformación troza/panel como un sistema único, caracterizado por las interrelaciones simultáneas entre los recursos disponibles, procesamiento y actividades variables.

El hecho indiscutible de que el hombre ha cambiado su actitud intuitiva o deductiva frente a los fenómenos económicos de organización, reclama la expresión y conocimiento numérico de los hechos o actividades de la firma, que le permitan preparar sus decisiones: exige de un método que pueda representar y analizar, en su contexto, todas las relaciones simultáneas de las variables físicas del proceso de producción y a su vez detectar el nivel tecnológico más adecuado y la solución económica óptima del sistema (10, 16).

Estudios forestales realizados por Donnelly, Fasick, Faux, Penick Jr., Ramsing y Sampson (4, 7, 8, 9, 10, 21, 22, 23, 24) para empresas de contrachapado reconocen la importancia de la aplicación y adopción de modelos matemáticos en el análisis dinámico de sus problemas, identificación de las actividades óptimas, interpretación de las situaciones



fabriles y toma de decisiones. Dichos autores sugieren la programación lineal como un modelo flexible de análisis, que permite la interrelación simultánea de factores y actividades de producción, iterándolas hasta un nivel de combinación alternativa, ideal a las decisiones de manejo de la empresa. Resaltan también la aplicación práctica de otros modelos de respuesta similar, dados por la investigación operativa, control de producción, control estadístico de calidades.

Dorfman (6) añade que el análisis de la empresa por programación lineal la supone a ésta como una unidad interdependiente, racional, capaz de tomar decisiones en aspectos técnicos (métodos de producción a emplear), en aspectos cuantitativos (cantidades de bienes a ofrecer y vender), en los aspectos del mercado (procedimientos para alterar, si fuera necesario, los niveles de demanda de los consumidores de la empresa) y en situaciones de concurrencia o de competencia perfecta; señala además que el campo de las decisiones de la empresa y la medida del valor de aquél se define en términos de funciones de producción y de precios.

#### 2. 4. Un modelo de aplicación de la programación lineal.

La programación lineal es una técnica matemática la cual maximiza o minimiza una variable criterio dependiente de una o un conjunto de variables controlables, sujetas cada una de ellas a una o más restricciones. La programación lineal trata de encontrar un vector que maximice o minimice la función objetivo (11).

Fasick (7) sugiere la Programación Lineal como un modelo matemático de análisis y cálculo de las alternativas más significativas para el manejo de la empresa.

La preocupación administrativa de la mayoría de industrias de contrachapado en países de una tecnología más avanzada, como E. U. A., Alemania, Rusia, ha trascendido en el ámbito industrial mediante su investigación operativa a base de Programación Lineal que les ha permitido cambios fundamentales en sus niveles de producción, sustancialmente en la elevación de sus ingresos netos. Ramsing (22), por ejemplo, concluye que la disminución de 58 calidades de paneles a 17, contribuyó al beneficio de la empresa duplicando el valor actual del ingreso neto. Donnelly (4) analizando la Boise Cascade Corporation encontró que al cambiar los insumos trozas por otras especies forestales se pudo incrementar la producción de la empresa en un 100%, reportando además ahorros adicionales de 5 a 15% en las operaciones de la empresa. Penick Jr. (21), estudiando una fábrica de muebles consiguió eliminar los sobretiempos en el uso de la maquinaria y con una disminución de la línea de actividades de la empresa elevó de 50, 40% a 57, 34% el uso de la capacidad instalada. Por otro lado Fasick y Sampson (24) aplican programación lineal en aserraderos a fin de elevar el ingreso neto de la empresa para cada clase diamétrica de troza que procesan.

#### 2. 4. 1. Aplicación de la programación lineal a la empresa de contrachapado.

La programación lineal se aplica a la empresa de

contrachapado para facilitar la aproximación del sistema a la mejor combinación alternativa de sus componentes, que resulte con un ingreso óptimo. Sin embargo, el uso de la investigación operativa no elimina ni disminuye la importancia que conlleva la experiencia y práctica del administrador, ya que la aplicación e interpretación de esta metodología matemática también depende de éste cúmulo de experiencias ganandas (7) .

Fasick (7) recomienda, para el caso de aplicación de investigación operativa, usando programación lineal, considerar las siguientes etapas básicas para el estudio del problema propuesto:

- a. Formulación del problema; evaluación del sistema y determinación de la función objetivo.
- b. Modelo; apropiado para optimizar la función objetivo.
- c. Recolección de datos; que para la empresa de contrachapado son pertinentes a tiempo crítico requerido por cada máquina, conversión física del insumo, flujo de insumos; requerimientos de chapas/panel y producción de paneles.
- d. Análisis estadístico; derivado también de la función objetivo.  
Uso del análisis de regresión como una primera herramienta para ajustar los datos colectados y predecir el comportamiento de las variables físicas.
- e. Programa lineal de insumos; las ecuaciones de regresión proveen los datos de insumos, en coeficientes de conversión, al modelo matemático de programación lineal, para calcular simultáneamente las soluciones óptimas.

- f. Programación lineal de las actividades óptimas; dado por un nivel de combinaciones alternativas de los factores considerados. Este nivel constituye la respuesta óptima al problema, el cual debe ser cuidadosamente evaluado y resumido. La respuesta es conseguida normalmente por computación electrónica, debido a la complejidad de cálculo originado por las iteraciones.
- g. Sensibilidad del análisis; confiabilidad del modelo aplicado dado en términos de bondad de ajuste.
- h. Simulación de otras alternativas de combinación, para comparar y evaluar los resultados.
- i. Recomendaciones operacionales y de implementación.

Las etapas de colección de datos, el análisis estadístico de la información obtenida y la programación lineal de los insumos de la producción ( c, d, e ) sugieren la metodología de este problema. Con esto se determinan las actividades, recursos y coeficientes que deben consignarse en la estructura del modelo de optimización propuesto. La etapa de programación lineal de las actividades óptimas (f) resulta de la solución objetivo, del problema en estudio. El análisis de la sensibilidad del modelo así como un juego de simulaciones de combinaciones alternativas (g, h) se agregan al capítulo de resultados a fin de discutir sus efectos en los resultados finales. La formulación de este estudio sigue con este formato un orden panorámico para la aplicación de Programación Lineal.

#### 2.4.2. Formulación del Modelo de programación lineal.

Un paso fundamental para el uso de la programación lineal lo constituye la formulación del Modelo\* el cual debe suponer en su contexto la situación real de la empresa, analizar las variables del proceso de la empresa sujetas a restricciones y explicar los cambios que deben generarse en el sistema para lograr una respuesta óptima. Esta formulación requiere de la definición de tres componentes: a) función objetivo; b) operaciones y actividades; c) restricciones. En términos generales estos tres componentes se expresan matemáticamente para facilitar su manipulación y entendimiento.

- a) La función objetivo establece el criterio óptimo de un nivel lineal de combinaciones (dentro de un juego de variables de producción), en términos de ingreso neto (maximización) o costos (minimización), que satisfagan un conjunto de restricciones (5, 10).

Faux (10) concreta el objetivo económico de la empresa en la maximización del valor del ingreso neto en función de la producción, expresada matemáticamente como:

---

\* Modelo es la abstracción, simplificación o idealización de un sistema o evento. El modelo es una herramienta efectiva, a menudo construido y usado para estudiar o predecir efectos de cambio en las variables incluidas en la situación que se trata de analizar (17). El modelo matemático de un sistema es un juego de ecuaciones cuya solución explica o predice cambios en el status del sistema que se analiza (17).

$$\underset{[X]}{\text{máx}} [I] = \underset{[X]}{\text{máx}} \left[ \sum_j^n P_j X_j + \sum_i^m C_i X_i \right]$$

sujeta a los requerimientos estructurales:

$$\sum_j^n a_{kj} X_j + \sum_i^m a_{ki} X_i \geq 0 \quad \text{para cada } k \text{ -ésima fila de } F_k \text{ y}$$

con los requerimientos no negativos

$$P_j \geq 0, C_i \geq 0, X_j \geq 0, X_i \geq 0, a_{kj} \geq 0, a_{ki} \geq 0$$

Babbar y Dorfman (1, 6) plantean las siguientes hipótesis:

- i) que la empresa debe ser competitiva;
- ii) que la empresa se ocupe en la producción de por lo menos dos productos independientes; y
- iii) que por lo menos uno de los recursos disponibles por la empresa sea limitado

y donde:

$\underset{[X]}{\text{máx}} [I] =$  conjunto de valores de  $X$  que hacen máxima la función objetivo

$\Sigma =$  signo de sumatoria

$P_j =$  precio unitario del  $j$  -ésimo producto

$X_j =$  cantidad del  $j$  -ésimo **producto**

$C_i =$  costo unitario del  $i$  -ésimo insumo

$X_i =$  cantidad del  $i$  -ésimo insumo

$j = 1, 2, 3, \dots, m$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$F_k =$  Cantidad disponible de cada  $i$ -ésimo insumo para cada fila de  $k$  .

$a_{kj}$  = coeficiente producto (panel/chapa); cantidad  $k$ -ésima de insumo necesario a producir un  $j$ -ésimo producto

$a_{ki}$  = coeficiente de conversión (chapa/troza); cantidad  $k$ -ésima de recurso producido por cada  $i$ -ésimo insumo

(-) signo de afectación para los recursos de salida; afecta

$$a_{ki} \leq C_i$$

(+) signo de afectación para los recursos de entrada

- b. Operaciones o actividades. Demas y Donnelly (3, 4), establecen un esquema de la secuencia de actividades para la empresa de contrachapado: compra de trozas; conversión de trozas, producción de chapas verdes; secado de chapas verdes; manufacturación de paneles, y venta de paneles, mercadeo.
- c. Restricciones. Fasick (7) aclara que la función objetivo tiene un óptimo finito desde el momento que es limitado por las múltiples restricciones que se dan en el proceso de producción. Básicamente menciona como restricciones: insumo trozas, flujo de entrada dado en inventario disponible; la capacidad de las maquinarias de operación referidas al aprovechamiento del tiempo disponible; y el mercado, dado en función del comportamiento de los consumidores y la tendencia de la venta de los productos.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización y características de la empresa de contrachapado en estudio: procesos y limitaciones.

La investigación que se presenta se realizó en una empresa de contrachapado en Costa Rica. Esta empresa es una unidad que no está especializada en alguna producción específica y define su proceso y actividades mediante su presente capacidad instalada, ilustrada en la Figura 1.

Actualmente la empresa ofrece al mercado sólo una dimensión estándar de panel ( 4' x 8' ), en dos tipos o calidades ("Especial y "Corriente") y en seis grosores (4, 6, 9, 12, 15 y 18mm). En cuanto a la frecuencia de productos ofrecidos se nota una tendencia de aceptación creciente por el mercado para los grosores menores.

Además de sus limitaciones de producción, fijadas por la maquinaria, la empresa afronta problemas de abastecimiento de trozas. Esto se explica, en parte, por la pobre infraestructura con que se cuenta para la extracción de madera del bosque y por las limitaciones de los medios de transporte, no obstante que las empresas nacionales no toman previsiones de abastecimiento de trozas a fin de superar las épocas de escasez.





### 3.2. Modelo de análisis de la empresa: Diseño del Modelo

El proceso de transformación troza/panel realizado por la empresa de contrachapado se analiza mediante un modelo de Programación Lineal, apropiado para optimizar la función objetivo de este estudio.

La actividad de operación, fabricar-vender paneles, puede ser representada en un diagrama bidimensional o por medio de matrices (Figura 2). La operación o proceso de conversión se representa en el eje horizontal y los recursos primarios, intermedios y finales en el eje vertical.

Las actividades del proceso son representadas esquemáticamente como flujos de recursos de entrada (insumos) y recursos de salida (productos). Los términos insumo (chapa/troza, tiempo/máquina) y producto (panel) están asociados al proceso y los términos de flujo de entrada (trozas) y flujo de salida (chapas) se asocian con los recursos. La magnitud de los flujos son representados por la relación de recursos consumidos y producidos en cada unidad de proceso y se identifican en el modelo por la intersección respectiva de la hilera-recurso y columna-proceso. Los valores en la intersección representan los coeficientes de productividad o conversión de cada operación, respectivamente. Las unidades que miden estos coeficientes se expresan por la relación de unidades convertidas/mil unidades insumidas o procesadas, para los recursos; y por la relación mil unidades producidas/por cantidad de flujo de salida, para cada operación.

Los flujos de recursos y servicios productivos entran en el modelo o sistema por medio del proceso de compra. El flujo de chapas o paneles sale del modelo a través de ventas. Las actividades básicas de compra y venta son representadas en la matriz por columnas o vectores que intersectan con su respectivo recurso o producto. Cada vector de las actividades de compra y venta también intersectan con una hilera de la función objetivo. Los valores de estas intersecciones representan costos por unidad y precios por unidad respectivamente. Los costos tienen el signo negativo y los precios positivo. El valor total del modelo o sistema es calculado por la suma de los valores de cada compra ( $X_1$ ) y cada venta ( $X_2$ ) asociados a su costo ( $C_1$ ) y precio ( $P_1$ ) respectivamente. La función objetivo es formulada para encontrar el máximo de la suma algebraica que simbólicamente se representa por la siguiente función:

$$\text{máx } [ \sum_j P_j X_j + \sum_i C_i X_i ]$$

donde:  $P_j \geq 0$ ,  $C_i \leq 0$ ;  $X_j, X_i \geq 0$

Dicha expresión explica que los costos de los recursos trozas son generados por la existencia de un mercado de transacciones, no así los precios de los productos (paneles) que son asignados bajo el criterio contable de la empresa.

En realidad la actividad de venta necesita de las actividades intermedias de compra de recursos y producción de paneles. En el modelo

se conectan las actividades de compra y venta a través de las hileras de recursos, asociados a sus respectivos coeficientes físicos de conversión, tal que una venta no podrá ser realizada si previamente no se ha comprado y procesado un recurso.

Hasta el momento no se han planteado restricciones al sistema, en lo que respecta a los vectores de actividades y vectores de recursos que constituyen el modelo, ésto define al sistema como infinito o ilimitado. De conformidad con la convención algebraica de los signos, que afectan los recursos y los productos, se especificó que la suma de todos los recursos debe ser más grande que cero. Es decir, el flujo de insumos de entrada debe exceder al flujo de productos en cada hilera de recursos. Por otro lado, el flujo de algún recurso debe estar representado por una restricción lógica en su disponibilidad ( $F_k$ ), durante un período de tiempo o meta establecida por el modelo.

En términos matemáticos dicha situación se expresa en la siguiente forma:

$$\text{máx } [ \sum_j P_j X_j + \sum_i C_i X_i ]$$

sujeto a:

$$\sum a_{kj} X_j + \sum a_{ki} X_i \geq 0$$

Esto es válido para todas las  $k$ -ésimas hileras

$$X_j \leq F_k$$

donde:

$P_j \geq 0$  precio por cada  $j$ -ésima unidad de panel;

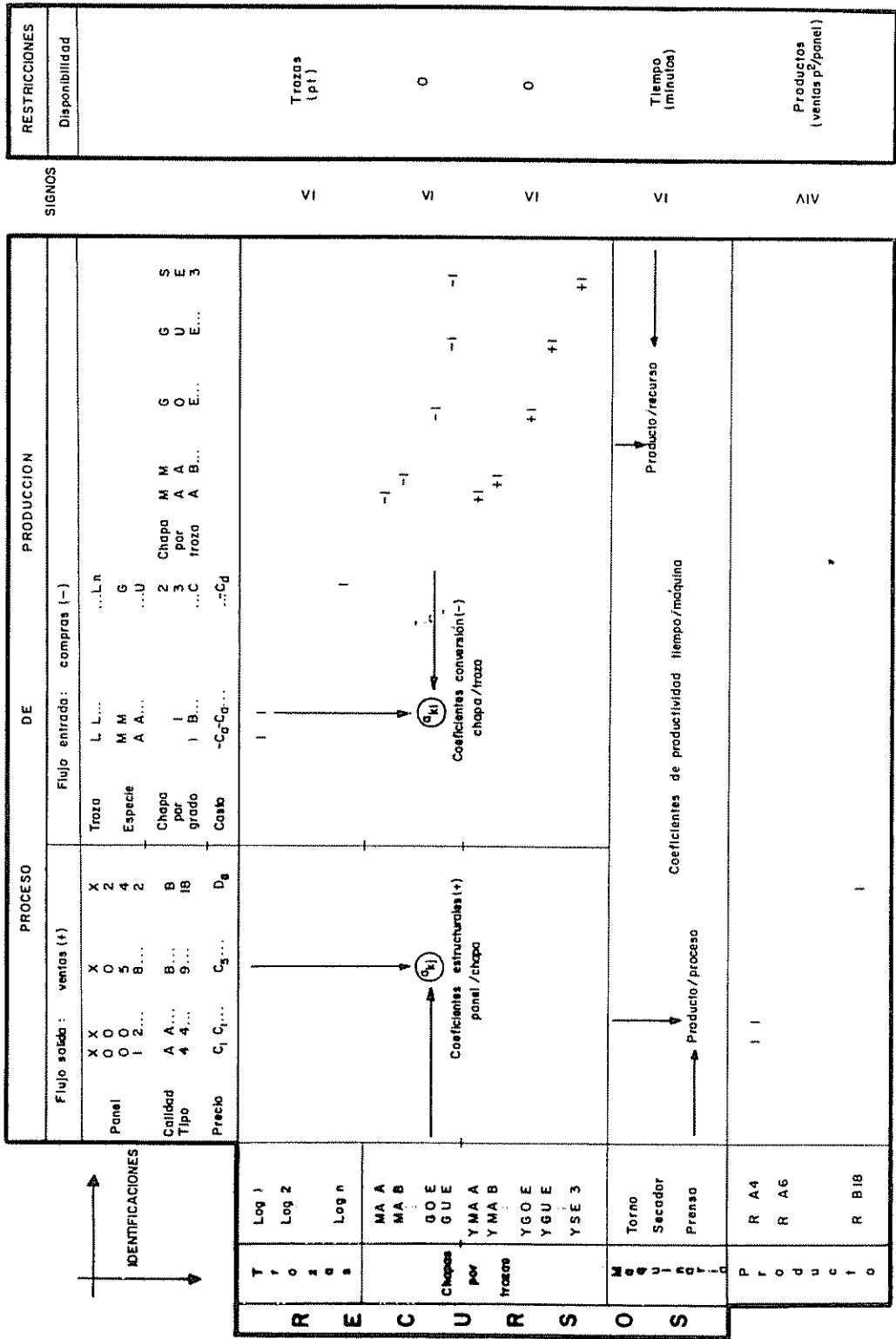


Fig. 2 Diseño básico del modelo de programación lineal

$C_i \leq 0$  costo por cada  $i$ -ésima unidad de insumo troza;

$a_{ki} \leq 0$  coeficiente de productividad: recurso/proceso;

$a_{kj} \geq 0$  coeficiente estructural: producto/recurso;

$X_i, X_i, F_k \geq 0$  los flujos económicos son todos positivos;

El modelo propuesto explica un estado de competencia entre las alternativas que presenta el proceso para el uso limitado de los recursos disponibles. Así mismo, para maximizar el valor total del modelo o sistema es necesario asignar la cantidad de recursos óptimos en el mejor nivel de alternativa que genere el más alto beneficio de la empresa. Tales asignaciones deciden la intensidad de aprovechamiento que serán objeto las disponibilidades del sistema.

### 3. 3. Recolección de datos.

#### 3. 3. 1. Volumen y tendencia de producción de la empresa.

La empresa no mantiene un control de producción e inventarios detallados que pueda proporcionar datos sobre su volumen real de producción. Para consignar una base de partida, se recurrió al control de ventas que hace la empresa, a fin de observar la tendencia histórica y comportamiento de sus productos con relación al mercado actual. El panorama histórico de la empresa presenta un continuo aumento de sus ventas desde 564,04 m<sup>3</sup> en 1967-68 hasta 1.154,38 m<sup>3</sup> en 1969-70. La necesidad de proyectar esta tendencia histórica solicitó el ajuste de los datos observados mediante un análisis de regresión con el fin de conseguir promedios mejor ajustados y predecir

situaciones futuras hasta 1975. El modelo de regresión que se utilizó para el análisis, por su mejor ajuste, fue el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 (1 + \beta_1)^{t_i}$$

donde:

$Y_i$  = cantidad de paneles vendidos en el año  $i$ -ésimo

$\beta_0$  = cantidad inicial de paneles, de venta

$(1 + \beta_1)$  tasa de contribución anual en la venta

$t_i$  = año de venta  $i$ -ésimo

$i$  = 1, 2, 3, . . . . . n

### 3. 3. 2. Identificación de los insumos.

Los insumos de la empresa son variables y se destacan en dos categorías principales:

#### a. Recursos físicos: trozas.

La empresa trabaja principalmente con tres especies para conversión de chapas: caobilla (Guarea spp.) fruta dorada (Virola spp.) y lechoso (Brosimum sp.) caracterizadas por su forma física adecuada al desarrollo.

#### b. Insumo horario: tiempo.

El insumo tiempo se estudia bajo dos aspectos: como tiempo de labor para cada operación y como tiempo de conversión (coeficientes de tiempo).

El tiempo de labor constituye el tiempo de trabajo o jornada que dispone la empresa. Actualmente la empresa tiene establecido 5 días de trabajo semanal, con una jornada de trabajo de 9 horas 30 minutos de lunes a jueves, y de 10 horas para el día viernes; además adiciona a este horario normal un promedio constante de 4 horas 13 minutos/día (estimándose en 1.041 horas 31 minutos/año) para las actividades de secado y preparación de chapas las cuales requieren mayor tiempo de atención. En resumen, la firma labora 247 días al año con un tiempo total de 3.412 horas 43 minutos (2.371 horas 12 minutos/año en la fase total del proceso y 1.041 horas 31 minutos en secado y preparación de chapas).

Este estudio identifica y mide el tiempo de labor de cada operación de la empresa de acuerdo a los siguientes conceptos:

- i. tiempo total ( $T_t$ ): tiempo de trabajo que está fijado por la empresa para una jornada (horas/día).
- ii. tiempo de mantenimiento ( $T_m$ ): tiempo variable para servicio que concurre sobre cada elemento de operación (torno, secador, prensa) en plena labor (tiempo de encendido, reparado, afinamiento, mantenimiento). Fue medido para cada operación.
- iii. tiempo disponible ( $T_d$ ): calculado por la diferencia entre el tiempo total y el tiempo de mantenimiento.
- iv. tiempo aprovechado ( $T_a$ ): tiempo medido para cada elemento de operación



- v. tiempo ocioso ( $T_0$ ): calculado por la diferencia entre el tiempo disponible y el tiempo aprovechado.

El tiempo de conversión está dado por el tiempo que ocupa cada operación para lograr una unidad de producto. Este se expresa como coeficientes de tiempo y se incluyen en el Diseño Matriz. El presente estudio calcula más adelante los coeficientes de productividad para las operaciones de torno (coeficiente tiempo/desenrollo-1000 pt.), secador (coeficiente tiempo/secado-1000 p<sup>2</sup> chapa x grado x especie) y prensa (coeficiente tiempo/prensado-1000 p<sup>2</sup> x tipo-panel).

### 3.3.3. Medida de los flujos de insumos.

La medida precisa del flujo de todos los recursos e insumos (máquinas, trozas, chapa, tiempo) utilizados por la empresa conduce a determinar el valor de los coeficientes de conversión, coeficientes estructurales y coeficientes de productividad, que deben asignarse a la programación lineal de los insumos en el Diseño Matriz.

Este estudio recurre a los datos obtenidos de a) cubicación y disponibilidad de trozas; b) medida de conversión chapa/troza; c) medida del tiempo, por operaciones.

#### a. Cubicación y disponibilidad de trozas.

La empresa mide el volumen de las trozas aplicando el principio de la cuadratura del círculo y expresa las unidades de cubicación en pulgadas cúbicas (2) \*, acogiéndose a la "Tabla de calcular .

---

\* Pulgada cúbica = 1 pulgada x 1 pulgada x 4 varas  
 = 1 pulgada x 1 pulgada x 11 piés  
 = 0,917 pt  $\approx$  1pt

madera en trozas" (T. C. R.) elaborada por Brealey \*\* en Costa Rica. Esta medida local se desestimó para este estudio y se utilizó la fórmula de Smalian, que correlacionó significativamente los datos observados ( $r = 0,99$ ). La fórmula Smalian se expresa simbólicamente por:

$$V = \left( \frac{B + b}{2} \right) \times L \quad \text{donde:}$$

V = volumen bruto de la troza, en metros cúbicos

B = área de la sección mayor de la troza, en metros cuadrados

b = área de la sección menor de la troza, en metros cuadrados

L = longitud de la troza, en metros

La disponibilidad de trozas de la empresa se estudió a través de los registros de la misma. La realidad presentada por estos datos y la necesidad de contar con elementos de predicción futura, que ajusten el comportamiento de las trozas en el tiempo, exigió de un análisis estadístico de la información numérica, disponible por la empresa.

El modelo de regresión aceptado por su mejor ajuste fue el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 T_i$$

---

\*\* Tabla de volúmenes de empleo generalizado en Costa Rica, elaborada con el propósito exclusivo de ser usada para la cubicación de madera de aserrío. Comunicación personal del Sr. Alfredo Brealey, 1970. Para este estudio se le denominó T. C. R.

Brealey, A. A. Tabla de calcular madera en trozas. Costa Rica ? 1965? 40 p.

donde:

$Y_t$  = Cantidad de trozas o piés tablares esperados en el  $t$ -ésimo año

$P_0$  = Cantidad inicial de trozas o piés tablares

$P_t$  = tasa de incremento en el insumo (trozas o piés tablares) por cada cambio de  $T$ .

$T_t$  = Variable tiempo, dada en  $t$  años

$t = 1, 2, 3, 4, 5$

b. Medida de conversión chapa/troza

Una actividad fundamental del proceso es la operación de conversión de trozas en chapa o lámina verde, según estándares de calidad, grosor y dimensiones establecidas por la empresa. El Cuadro 3 presenta los estándares de conversión que se reconocieron para el presente estudio.

Cuadro 3. Estándares de conversión chapa/troza.

Grado de Chapa	Identificación ( grado )	Grosor (mm)	Especie * Utilizada
Cara o espalda	A	1,5	MA, GO, GU
Centro corto delgado	B	1,5	MA, GO, GU
Centro corto grueso	C	3,0	GO, GU
Centro largo delgado	D	1,5	MA, GO, GU
Centro largo grueso	E	3,0	GO, GU

\* MA = caobilla; GO = fruta dorada; GU = lechoso

Fuente: Empresa estudiada

En esta etapa se midió (sistema S. M. D.)\*, a partir de una muestra de trozas, la cantidad de chapa convertida en el torno, considerando las características de grado, espesor, especie y clase diamétrica de la troza insumida. Esta medición proporcionó los datos necesarios para establecer una relación de conversión chapa/troza-diámetro debidamente ajustada mediante el modelo de análisis de regresión (12):

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 (D_1^2 - d^2) \quad \text{donde:}$$

$Y_1$  = Cantidad total convertida a chapa, por cada troza  $i$ -ésima insumida.

$\beta_0$  = Conversión inicial chapa/troza

$\beta_1$  = Tasa de incremento en la conversión de chapa por cada cambio de diámetro.

$D_1$  = Diámetro menor de la  $i$ -ésima (troza)

$d$  = Diámetro del "tuco" residual; constante para cualquier  $i$ -ésima troza.

Establecidos mediante este modelo, los parámetros de conversión chapa/troza-diámetro, se procedió a determinar la cantidad de chapa que puede lograrse en cada clase diamétrica. De esto se dedujo que el factor diámetro no influye en la producción de cantidad de chapa que rinde mil piés tablares de una troza-especie; entonces, el producto chapa-dado en unidades de superficie ( $m^2$  ó  $p^2$ )-relacionado con el recurso trozas-dado en unidades de cubicación ( $m^3$  ó  $pt$ )-proporciona el

---

\* S. M. D. Sistema Métrico Decimal; fue empleado para medir la chapa desenrollada en el torno. Para facilitar el estudio se convirtieron las magnitudes observadas a  $p^2$ .

coeficiente de conversión chapa/troza-especie, luego para este estudio los coeficientes de conversión chapa/troza-especie se determinaron mediante la relación:

$$\frac{F_k}{X_i} = a_{ki}$$

donde:

$a_{ki}$  = coeficiente de conversión, para un  $k$ -ésimo grado de chapa conseguido de cada  $i$ -ésima troza-especie insumida.

$F_k$  = chapa  $F$  de  $k$ -ésimo grado, dado en unidades de superficie

$X_i$  = troza de la  $i$ -ésima especie dado en unidades de cubicación.

c. Medida del tiempo, por operaciones

El estudio del tiempo, en la empresa, aclara algunos requerimientos del proceso y ayuda a establecer un control económico para el aprovechamiento y utilización de los recursos disponibles. Este estudio propone establecer la combinación más económica entre trabajo y equipo. De acuerdo a las concepciones de tiempo de labor para cada operación y tiempo de conversión establecidas anteriormente, esta sección se ocupa de determinar y explicar los valores correspondientes a cada uno de estos conceptos.

La medida del tiempo de labor, para cada operación, se estudió a partir del tiempo de jornada o tiempo total ( $T_t$ ) de trabajo establecido por la empresa. En primer término se determinó el tiempo promedio que dedica la empresa para el mantenimiento ( $T_m$ ) de sus operaciones considerando para esta medida el tiempo de carga y encendido

de máxima, tiempo de servicios y afinamientos y tiempo de descanso. Obtenido el tiempo de mantenimiento, para cada operación, se descontó del tiempo total correspondiente para establecer el tiempo disponible ( $T_d$ ) que posee cada elemento para cumplir su labor.

También se midió el tiempo promedio aprovechado ( $T_a$ ) por cada operación, entendiéndose como tal el tiempo en que la maquinaria esta manufacturando algún producto. Para este caso se tomó una muestra de 20 días de trabajo y se midió, para cada operación, el tiempo que fue ocupado en producción. Reunidos y resumidos debidamente los datos en las Formas 2, 3, 4 (Apéndice 10) se consiguió un valor medio aritmético de los tiempos aprovechados. Un tiempo ocioso ( $T_o$ ), necesario a tener en cuenta en este estudio de optimización, se consiguió por diferencia entre el tiempo disponible y el tiempo aprovechado.

El tiempo de conversión lo hemos definido como el tiempo que ocupa cada operación para lograr una unidad de producto. El estudio de este concepto en la empresa lo referimos a las operaciones fundamentales: torno, secador y prensa.

El tiempo de conversión para el torno lo identificamos a partir de un torno marca Archer (Blower & Piper Co.) de corte rotativo, ajustable a los diámetros de trozas insumidas hasta un diámetro residual o "tuco" de 8,7 pulgadas (22cm). El torno es cargado en forma semi mecánica, ayudado de una polea de elevación y de mano de obra. Para esta operación se midió, con cronómetro, el tiempo empleado por el torno para desenrollar chapas (de grados diferentes) de una muestra

aleatoria de trozas de diámetros variables. El tiempo observado en esta operación se relacionó con los coeficientes de conversión/chapa/troza-especie a fin de determinar el tiempo empleado por el torno para desenrollar la cantidad de chapa explicada por aquellos coeficientes. Para un mejor ajuste de esta relación se sometieron los datos comentados a un análisis de regresión multidimensional a fin de linearizar la interacción variable chapa/diámetro lo cual se logró relacionar significativamente con un  $R^2 = 0,635$  de coeficiente determinístico. El modelo matemático usado en esta etapa se representa simbólicamente como:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 CH_i + \beta_{11} D_i^2 + \beta_{12} D_i CH_i$$

donde:

$Y_i$  = tiempo total de desenrollo

$\beta_0$  = tiempo constante, inicial

$\beta_1$  = tasa de incremento en tiempo debido a cada cambio de diámetro

$\beta_2$  = tasa de incremento del tiempo de desenrollo para cada  $i$ -ésima calidad de chapa.

$\beta_{11}$  = tasa múltiple de incremento del tiempo debido al diámetro

$\beta_{12}$  = tasa de incremento en tiempo debido a la interacción diámetro/chapa

$D_i$  = diámetro menor de la  $i$ -ésima troza

$CH_i$  = cantidad de chapa de  $k$ -ésimo grado convertida de la  $i$ -ésima troza

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

El tiempo de conversión para el secador lo identificamos a partir de un secador marca Proctor Dryers (Serie H, 9282), del tipo transportador, con carga manual, tres gavetas de fajas sin fin, que le dan una capacidad máxima de secado de 2913, 2 p<sup>2</sup> por "carrera de secado"\*. Descriptivamente la secadora presenta dos gavetas de un área de secado de 12, 6' x 80' cada una (1.008, 00 p<sup>2</sup>) y una tercera de transporte opuesto a las anteriores de 12, 6' x 72' (907, 2 p<sup>2</sup>); usa como fuente de calor una caldera bastante deficiente.

Por razón de su mecanismo simple, el secador no es ajustable para conseguir características de secado ideales, en temperatura ( $\pm 250^{\circ}\text{F}$ ) y humedad ( $\pm 5-10\%$ ), para los grados de chapas que procesa. El secador funciona a una temperatura casi constante de  $150^{\circ}\text{F}$  y la única forma de regularlo es aumentando o disminuyendo el tiempo de "carrera de secado".

En esta operación se midió inicialmente la superficie de secado aprovechada por cada tipo de chapa en una "carrera de secado". En segundo término, se midió el tiempo por "carrera de secado" correspondiente a cada grado de chapa y especie forestal, respectivamente. Estas dos mediciones se relacionaron para calcular el coeficiente de tiempo de secado para cada 1000 p<sup>2</sup> de chapa, distinguiendo grado y especie.

---

\* "carrera de secado": se define así el espacio de recorrido de un transportador de chapas, que es igual a la longitud del secador o sea 80' ó 72'. Este recorrido permite que la chapa verde introducida llegue seca al momento de salir del secador.



Acabada la fase de secado de chapas se dan, en la empresa, otras operaciones secundarias que no han sido medidas por este estudio debido a que no limitan el proceso de manufacturación de la empresa. Sin embargo, para la información del lector se menciona que estas operaciones están dirigidas a la producción final de paneles y se resumen en: colección de chapas secas, recortado, "canteado", junta-do de chapas y selección de chapas para la producción final.

#### 3.3.4. Construcción, prensado y calificación de paneles.

La construcción de los diferentes tipos de panel se hace de acuerdo a un arreglo y combinación de grados y grosores de chapas dispuestas unas en sentido contrario a la fibra de la otra. Este juego de arreglos se presenta en el Cuadro 4, donde el cuerpo de la tabla indica la cantidad de chapas (en grado y grosor) que requiere cada tipo de panel para ser confeccionado; por ejemplo, un panel de 4mm requiere de 3 chapas, una para cara (1, 5mm) una para espalda (1, 5mm) y otra para centro (1, 5mm).

Una cosa que es necesario aclarar, antes de seguir adelante, es la observación que ha logrado determinar que la empresa no selecciona sus chapas secas por especies, sólo lo hace por grado y grosor. En otras palabras, la empresa está trabajando con sus chapas como si provinieran de una sola especie forestal. Esta actitud genera en la empresa, la posibilidad de construir un mismo panel en diferentes formas si referimos cada chapa a su especie correspondiente.

Como la finalidad de nuestra investigación nos exige el mayor detalle de labor para optimizar el proceso, este estudio debe consignar el número de combinaciones posibles para conseguir un mismo panel. Estas combinaciones se han logrado, una a una, a partir de los requerimientos básicos de cada panel y considerando algunas prácticas adicionales hechas por la empresa; así, la empresa desenrolla escasamente chapa corta de 3,0 mm de la especie fruta dorada; la empresa usa caobilla sólo para las caras del tipo-panel "Especial"; la empresa construye panel "Especial" sólo en los grosores de 4 y 6 mm. El número de combinaciones calculadas se presentan en el Cuadro 4 y se describen en el cuerpo del Diseño Matriz, como coeficientes  $a_{k,1}$  (coeficientes panel/chapa).

Cuadro 4. Construcción de paneles; requerimientos y número de combinaciones posibles para construir un mismo panel.

Chapa Panel	Cara espalda 1,5	Centro corto 1,5	Centro corto 3,0	Centro largo 1,5	Centro largo 3,0	No. Combinaciones "Especial"	"Corriente"
4mm	2	1	-	-	-	9	15
6mm	2	-	1	-	-	6	10
9mm	2	2	-	-	1	-	28
12mm	2	-	2	-	1	-	15
15mm	2	-	3	2	-	-	56
18mm	2	-	3	-	2	-	12

Fuente: Empresa estudiada

La construcción de paneles implica la operación de encolado de chapas, para dar consistencia al panel; sigue a ésto la operación de prensado la cual se estudia a partir de una prensa marca Berthelsen, semi automática, de carga manual y limitada a dos gavetas de prensado; se observó que su capacidad de prensado es dependiente del tipo de panel a prensar (Cuadro 5).

Cuadro 5. Capacidad de prensado

	Tipo de Panel					
	4mm	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
No. paneles por gaveta	2	2	1	1	1	1
Total paneles por prensado	4	4	2	2	2	2

En esta operación se midió el tiempo que necesita cada tipo de panel para ser prensado; esta medición se consiguió de un juego de muestras de prensado. Los tiempos así obtenidos, para cada tipo de panel, se promediaron para establecer el requerimiento de tiempo para prensar una unidad de panel; este valor de tiempo permitió calcular el coeficiente de tiempo de prensado que es igual al tiempo que se requiere para prensar  $1.000 p^2$  de cada tipo de panel.

Continuando con el proceso de producción encontramos que después de la operación de prensado siguen las operaciones de acabado

(recortado de los paneles a medida estándar 4' x 8'; lijado, refabricación, tratamientos secundarios de "parchado" ó "curado" de las caras) y calificación de los paneles.

El criterio de calificación que supone la empresa para cada panel, es conseguir por lo menos una cara buena, la cual toma la calidad nominal de "Corriente" según tenga mayor o menor daño. La calificación "Especial" exige cuando menos una cara buena pero que ésta o ambas sean de la especie caobilla. El panel "Especial" sólo se fábrica en grosores de 4 y 6mm; todos los demás grosores se ubican en la calidad de "Corriente". Como se puede apreciar, con excepción del panel "Especial" la empresa no toma en cuenta la calidad o especie que constituye la cara o espalda de los demás tipos de paneles.

### 3.3.5. Costos de trozas y precios de los productos finales.

Los costos de trozas necesarios a conocer en el modelo matriz se identifican como los precios corrientes pagados por la empresa (por cada pié tablar), en el último mes (setiembre) del ejercicio presupuestal 1969-70, los cuales corresponden a:

caobilla	₡ 0,37 pt
fruta dorada	₡ 0,36 pt
lechoso	₡ 0,34 pt

El Diseño Matriz de esta investigación incluye estos precios referidos al costo de 1.000 pt de troza, de cada especie.

Los precios de venta para las diversas calidades y tipos de paneles producidos por la empresa son fijados por ésta y se expresan en el

Cuadro 6. Para este estudio el Diseño Matriz incluye los precios de venta de cada tipo de panel referidos al precio de venta de 1.000 p<sup>2</sup> de panel acabado.

Cuadro 6. Precios de venta para cada tipo de panel  
(en colones, Costa Rica)

Tipo	" Especial "		" Corriente "	
	por unidad	por mil p <sup>2</sup>	por unidad	por mil p <sup>2</sup>
4 mm	15,05	481,60	14,30	457,60
6 mm	18,90	604,80	17,95	574,40
9 mm	--	--	27,85	891,20
12mm	--	--	35,80	1.145,60
15mm	--	--	41,85	1.339,20
18mm	--	--	50,50	1.616,00

Fuente: Empresa estudiada

### 3.4. Análisis Estadístico

La mayor dificultad que ofrece un modelo de Programación Lineal es la determinación de la magnitud técnica de los coeficientes con los cuales debe operar. Aceptando esta condición, la metodología para la toma de datos de este estudio se ha ceñido a un patrón riguroso, ya expuesto, a fin de ajustar estadísticamente las magnitudes observadas en las diversas operaciones controladas y medidas (maquinaria), así como los elementos dimensionados (trozas y tiempo). Los ajustes estadísticos

se han ejecutado en cada etapa medida, tal como se ha podido apreciar en el transcurso de la descripción y análisis de la toma de datos; el ajuste de las operaciones e insumos se ha hecho a base de modelos de regresión lineal con el objeto de conseguir, en algunas observaciones analizadas, sus interrelaciones lineales y para calcular, para cada uno de los elementos estudiados, su respectivo coeficiente técnico necesarios a suministrarlos como datos, en la formulación de la Programación Lineal de los insumos.

### 3.5. Programación Lineal de los Insumos

La programación lineal de los insumos está dada por el arreglo lógico, en hileras y columnas, de los coeficientes técnicos de conversión dentro del modelo de análisis propuesto, con el fin de facilitar el cálculo de la solución óptima que satisfaga a la función objetivo, del problema en estudio. El Diseño del Modelo presentado en la Figura 4 formula la programación lineal de los insumos de la empresa, siguiendo la misma descripción que hace el Diseño Matriz teórico presentado en Figura 2

El cálculo de la Programación Lineal propuesto se computó electrónicamente usando el Mathematical Programming System/360, Linear Program, aplicado a un Computador I. B. M. - 360 que operó bajo el sistema INFO. Esta computación se realizó en el Centro de Cálculo de la Universidad de Georgia, en Athens, Georgia, Estados Unidos, por gestión y ayuda del Servicio Forestal de los Estados Unidos de América.

### 3.6 Programación Lineal de las Actividades Óptimas

La Programación Lineal de las actividades óptimas resulta de las

soluciones básicas obtenidas a partir del modelo de análisis, las mismas que a la vez deben optimizar, la función objetivo. Los capítulos de Resultados y Discusión amplían esta etapa.

#### 4. RESULTADOS

Este capítulo está dividido en dos partes. En la primera parte se presenta el análisis de la información primaria, utilizada para determinar los coeficientes de productividad o coeficientes de conversión que caracterizan los recursos y a las operaciones que concurren en el proceso de la producción de la empresa. La segunda parte, trata la optimización de la producción de la empresa, bajo dos criterios. El primer criterio analiza la producción de la empresa en el período de 1960-70, fijando las variables disponibles (trozas, chapas, tiempo) y la cantidad de productos vendidos (paneles) en este período, a fin de establecer el aprovechamiento real de las capacidades de instalación de la empresa a lo largo del proceso de producción de paneles. Este criterio se denominará en adelante Solución Básica.

El segundo criterio estudia a la empresa bajo las mismas condiciones de disponibilidad planteadas por la Solución Básica suponiendo que su capacidad de instalación puede ser aprovechada con un mejor nivel de producción para elevar el beneficio de la empresa.

##### 4.1. Análisis de la información primaria.

La información básica de este estudio está referida a dos elementos fundamentales del proceso: insumos (trozas, chapas, tiempo) y operaciones (maquinaria: torno, secador, prensa). El análisis de estos elementos de producción consiste en la determinación de los coeficientes técnicos de productividad o conversión de cada uno de ellos y en el establecimiento de la magnitud disponible de insumos y de la capacidad de



instalación respectivamente. Los valores calculados de cada una de estas transformaciones, son utilizados para la formulación de la programación lineal de insumos.

#### 4.1.1. Análisis de los recursos físicos: trozas

Como resultado del análisis de las compras de trozas que la empresa realizó entre 1967-70 (Cuadro 1 del Apéndice 5) se observa que la disponibilidad mensual de este recurso es muy variable; así mismo se aprecia que entre enero y julio se registran las ofertas más altas de trozas. Se advierte además, que las especies que con más frecuencia ocurren en las compras de la empresa son lechoso (52, 71%) y fruta dorada (30, 01%), las cuales contribuyen con el 82, 72% del recurso total; en cambio caobilla (12, 32%) es una especie escasa y costosa (Cuadro 2 del Apéndice 5). Otro aspecto observado es la alta frecuencia de trozas (64, 13%) con diámetros entre 11 y 20 pulgs (50cm) (Cuadro 3 del Apéndice 5); si se toma en cuenta, que en promedio, una troza rinde el 49, 65% de su volumen en chapa y que el "tucó" residual de cada troza desenrollada es de 9 pulg se demuestra que, si persiste la tendencia de comprar trozas de diámetros menores de 20 pulg. la empresa estará pagando un mayor precio para los desperdicios que para la chapa que puede convertir de cada troza.

Otro aspecto de este análisis se refiere a la disponibilidad futura de trozas de la empresa y a la relación de conversión chapa/troza-especie. Para estimar la disponibilidad anual de trozas se ajustaron los datos observados en la empresa con una función geométrica que permitió

predecir la cantidad de recursos que la empresa puede disponer para el período 1970-75 (Figura 3 y Cuadro 1 y 2 del Apéndice 6 ). Las estimaciones generadas por esta función advierten que el lechoso será la especie más frecuente en las compras de la empresa, no así fruta dorada que observa una tendencia de ocurrencia casi constante y caobilla que será una especie escasa, conforme avanza el quinquenio 1970-75.

Asociado al criterio de decisión que adopta la empresa para comprar trozas se encuentra la medida de cubicación que usa, para dimensionar el valor de estos recursos. Este trabajo compara la cubicación dada por la T. C. R. y la cubicación Smalian adaptada para este estudio observándose que ésta última castigó con un 33,87% de descuento la cubicación obtenida con T. C. R.. También por su uso generalizado, se consideró la Tabla Doyle como otra medida de cubicación; esta medida sólo se comparó en este estudio con las anteriores observándose que es una tabla muy exigente en su aplicación, castigando a la T. C. R. con un descuento del 54,72% y la Smalian con un 34,99% (Cuadro 1 del Apéndice 4). Estas observaciones permiten apreciar que la medida de cubicación que emplea la empresa estudiada no es recomendable, debiendo decidir por estándares de cubicación que aproximen a sus objetivos.

La relación de conversión chapa/troza se ajustó por medio de una función cuadrática que permitió estimar la cantidad de chapa que produce cada troza considerando su especie y diámetro (Cuadro 1 y 2 del Apéndice 7 ). La cantidad de chapa obtenida ( $p^2$ ) se relacionó con el volumen

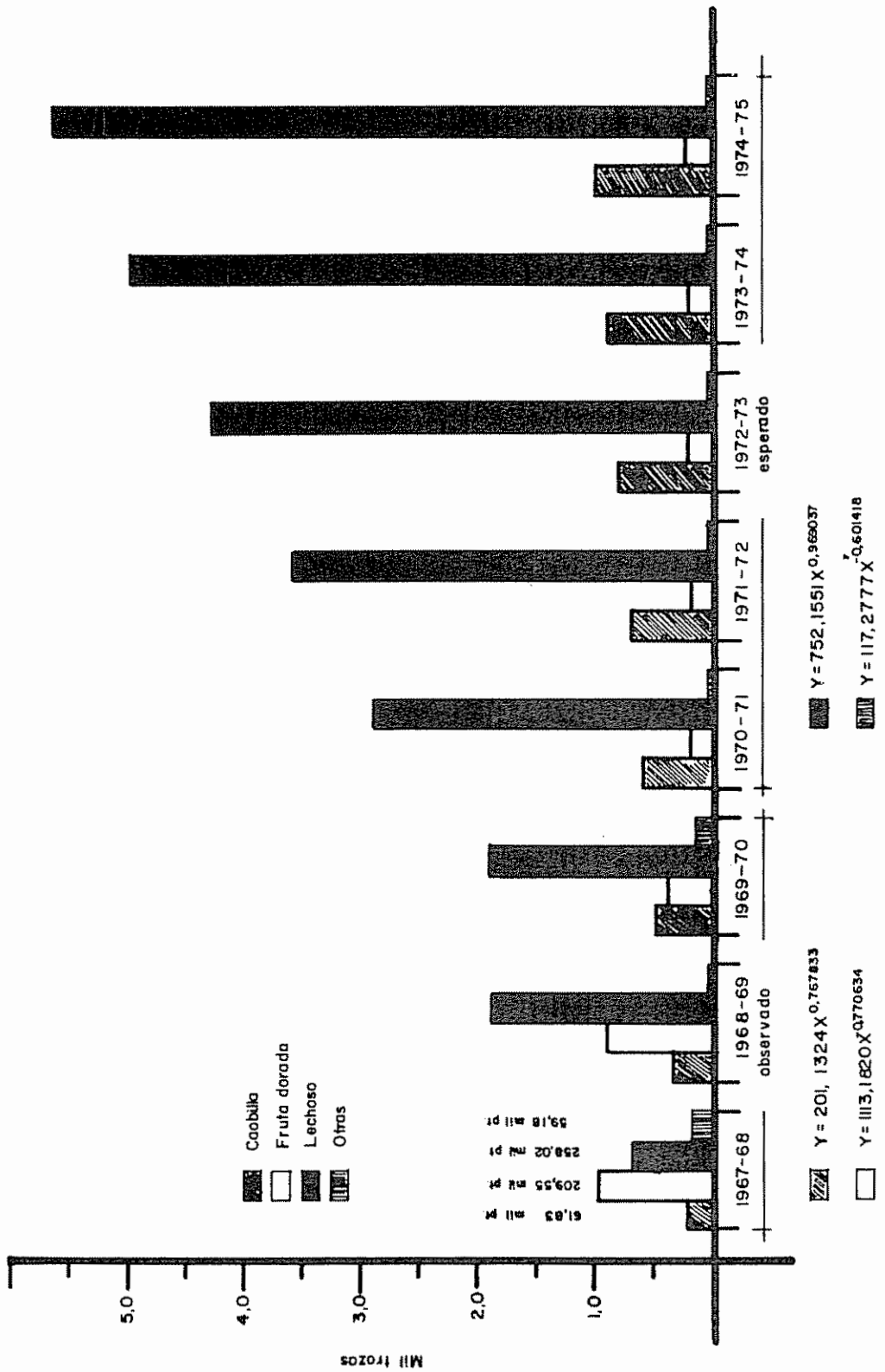


Fig. 3 Distribución anual : trazos observadas y esperadas (en cantidad y especie )

total (pt) de la troza desenrollada determinando así el coeficiente de conversión chapa/troza-especie. Los valores de conversión obtenidos para este estudio se expresan, en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Coeficientes de conversión chapa/troza-especie\*  
(valores absolutos  $p^2/pt$ )

Especie	Grosor	Cara	Centro largo	Centro corto	Total
Caobilla	1, 5mm	3, 700	0, 300	0, 500	4, 500
Fruta Dorada	1, 5mm	8, 299	1, 443	1, 771	11, 513
	3, 0mm	-	2, 100	4, 374	6, 474
Lechoso	1, 5mm	7, 136	0, 923	1, 152	9, 211
	3, 0mm	-	1, 774	3, 308	5, 082

\* En el Apéndice se explica el procedimiento para obtener un coeficiente de conversión chapa/troza.

Una comparación entre las relaciones de conversión total chapa/troza-especie indica que fruta dorada es la especie que tiene el más alto coeficiente de conversión en chapa delgada de 1, 5mm ( $11, 5 p^2/pt$ ) y el menor desperdicio (32, 01%); lechoso en cambio posee una conversión de  $9, 2 p^2/pt$  y un desperdicio de 45, 61% y caobilla, que es una especie de mayor calidad que las anteriores, observa una conversión escasa ( $4, 5 p^2/pt$ ) y un alto porcentaje de desperdicio (73, 43%). La chapa gruesa de 3, 0mm se obtiene de las especies fruta dorada y lechoso; esta cantidad de desenrollo permite aprovechar mejor el recurso troza disminuyendo los desperdicios en un 8,47% en fruta dorada y 5, 64% en lechoso (Cuadro 8).

Cuadro 8 . Coeficientes de conversión chapa/troza-especie  
(valores porcentuales)

Especie	Grosor	Cara	Centro largo	Centro corto	Total	Desperdicio
Caobilla	1, 5mm	21, 84	1, 77	3, 05	26, 57	73, 43
Fruta Dorada	1, 5mm	49, 01	8, 52	10, 46	67, 99	32, 01
	3, 0mm	--	22, 44	54, 02	76, 46	23, 54
Lechoso	1, 5mm	42, 14	5, 45	6, 80	54, 39	45, 61
	3, 0mm	--	20, 95	39, 08	60, 03	39, 97

Los coeficientes de conversión total chapa/troza-especie pueden diferenciarse en coeficientes de conversión parciales indicando, en cada caso, la relación chapa-grado/troza-especie. Es decir, que las magnitudes parciales chapa-grado que se pueden conseguir desenrollando una troza son sumables y equivalentes al coeficiente total de conversión chapa/troza-especie, respectivamente (Cuadro 7 y Cuadro 8).

#### 4.1.2 Análisis de los insumos horarios, por operación.

El tiempo disponible de la empresa se estudió y midió bajo los conceptos de tiempo de labor y tiempo de conversión por operaciones, respectivamente.

##### 4.1.2.1. Tiempo de labor.

El análisis del tiempo de labor o jornada establecida por la empresa determinó el gasto diario de tiempo que se hace en cada operación de producción. También se estableció el tiempo disponible que posee cada operación para usar su capacidad de instalación; esta

medida no incluye el tiempo de mantenimiento o servicio que concurre en cada máquina. El Cuadro 9 presenta el resumen de las medidas de tiempo promedio/día conseguidas para cada operación.

Cuadro 9 . Medidas del tiempo promedio/día, por operación.

Operación	Tiempo total ( $T_t$ )	Tiempo mant. ( $T_m$ )	Tiempo dispble. ( $T_d$ )	Tiempo aprov. ( $T_a$ )	Tiempo ocioso ( $T_o$ )
Torno	9h, 36min.	2h, 35min.	7h, 01min.	1h, 24min.	5h, 37min.
Secador	15h, 06min.	1h, 56min.	13h, 10min.	9h, 54min.	3h, 16min.
Prensa	10h, 36min.	1h, 06min.	9h, 30min.	7h, 27min.	2h, 03min.

Observando el Cuadro 9 se advierte que el torno aprovecha escasamente (1h, 24min.) su capacidad disponible referida al tiempo; ésto es comprensible si anotamos que el aprovechamiento del secador (9h, 54min) aproxima al máximo de su capacidad disponible. En cambio, la prensa, a pesar de su escasa capacidad física de prensado, logra atender al proceso trabajando sólo 7h, 27min. promedio/día.

El modelo que analiza la empresa trabaja con base en el conocimiento de las disponibilidades (día, semana, mes, año). En este estudio los tiempo disponibles al año, por cada operación, se derivan de los valores calculados anteriormente y se presentan así:

Torno	103.987 minutos/año
Secador	195.130 minutos/año
Prensa	140.790 minutos/año

#### 4.1.2.2. Tiempo de conversión chapa/troza.

El análisis estadístico de la relación de tiempo de desenrollo de chapa para cada clase diamétrica, estableció un tiempo de 147 segundos ( 2min. 27seg.) para el desenrollo de 1.000 p<sup>2</sup> de chapa, sea de 1,5mm ó 3,0mm de espesor (Cuadro A del Apéndice 10). A partir de este concepto, asociado al coeficiente de conversión chapa/troza, se determinó los coeficientes de tiempo para desenrollar 1.000 pt de cada especie insumida por el torno (Apéndice 10B). El Cuadro 10 presenta los coeficientes de tiempo calculados para desenrollar 1.000 pt de caobilla, fruta dorada y lechoso, respectivamente.

Cuadro 10 . Coeficientes de tiempo de desenrollo.  
(minutos/1.000 pt).

Chapa	Caobilla	Fruta Dorada	Lechoso
1,5 mm	11,25	28,21	22,57
3,0 mm	---	15,86	12,45

#### 4.1.2.3. Tiempo de secado de chapas.

Para la determinación del coeficiente de tiempo de secado de chapa se necesitó calcular el área de secado que se

aprovecha secando chapa de 1, 5mm y 3, 0mm respectivamente (Cuadro 11)

Cuadro 11 . Superficie de secado aprovechada, en el secador

Chapa		Disponible (p <sup>2</sup> )	Aprovechada (p <sup>2</sup> )	(%)
1, 5 mm	Largo	2.016, 0	1.849, 94	91, 76
1, 5 mm	Corto	2.913, 2	1.018, 41	34, 95
3, 0 mm	Largo	2.016, 0	1.849, 94	91, 76
3, 0 mm	Corto	2.913, 2	1.410, 65	48, 42

Con esta primera magnitud se observó que las chapas largas ocupan mejor el área de secado (91, 76%) no así las chapas cortas que desperdician un alto porcentaje (65, 05%) de esta área disponible, lo cual se explica por el mayor espacio que se deja entre chapas al ser arregladas en las gavetas transportadoras.

Asociado a esta magnitud calculada se midió el tiempo de "carrera de secado" para cada chapa/grado-especie (Cuadro 12). En esta segunda medición se observó que el comportamiento de secado es similar en caobilla y lechoso diferenciándose de fruta dorada que utiliza mayor tiempo para secar.



Cuadro 12 . Tiempo de secado para chapas, por "carrera de secado" (minutos)

Especie	Grosor	Cara	Centro corto	Centro largo
Caobilla	1, 5 mm	22, 38	25, 01	22, 38
Fruta dorada	1, 5 mm	35, 02	31, 00	35, 02
	3, 0 mm	---	120, 00	80, 00
Lechoso	1, 5 mm	22, 38	25, 01	22, 38
	3, 0 mm	---	105, 01	78, 00

Un punto interesante en este cálculo lo constituye la necesidad de advertir que esta estimación es susceptible de cambio toda vez que el secador no es automático; por lo tanto, no controla las condiciones ideales de secado para una chapa-grado. Las únicas alternativas que se ofrecen para regular las condiciones de secado son disminuyendo el tiempo de "carrera de secado" cuando la energía de calor es baja o aumentando esta "carrera de secado" cuando la temperatura de secado es alta.

La relación entre las dos magnitudes conseguidas anteriormente permitió asociar toda esta operación de secado explicándola mediante coeficientes de tiempo de secado para cada chapa/grado-especie. El Cuadro 13 presenta los coeficientes de tiempo de secado para cada 1000 p<sup>2</sup> de chapa/grado-especie.

Cuadro 13 . Coeficientes de tiempo de secado por cada 1.000 p<sup>2</sup> de chapa (minutos).

Especie	Grosor	Cara	Centro largo	Centro corto
Caobilla	1, 5 mm	12, 15	12, 15	24, 63
Fruta Dorada	1, 5 mm	19, 00	19, 00	30, 43
	3, 0 mm	---	43, 40	85, 01
Lechoso	1, 5 mm	12, 15	12, 15	24, 63
	3, 0 mm	---	42, 28	74, 85

#### 4. 1. 2. 4. Tiempo de prensado

La relación de la capacidad de prensado y el tiempo de prensado gastado por cada tipo-panel estableció el coeficiente de tiempo de prensado para cada calidad de panel. Las magnitudes de estos coeficientes se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14 . Tiempos y coeficientes de prensado para cada tipo de panel.

	Tipo de Panel					
	4mm	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
Tiempo de prensado por carga (minutos)	3, 32	6, 40	5, 46	5, 76	6, 76	9, 72
Minutos por unidad prensada	0, 83	1, 60	2, 73	2, 88	3, 38	4, 86
Minutos x 1000 p <sup>2</sup>	26, 56	51, 20	87, 36	92, 16	108, 16	155, 52

El conjunto de coeficientes técnicos de conversión determinados a través de este primer análisis, así como las magnitudes de disponibilidad calculadas para el proceso de la empresa son utilizados en la formulación de la Programación Lineal de Insumos, la cual se resume en el Diseño Matriz que presenta la Figura 4. Este Diseño reúne en su contexto toda la actividad de la empresa. A partir de esta formulación se inicia el cálculo de la solución óptima que debe satisfacer la función objetivo de la empresa.

#### 4.2. Optimización de la producción de la empresa.

En esta investigación se parte del principio que la empresa aprovecha deficientemente su capacidad instalada; sin embargo, se insiste en que esta característica puede ser superada y regulada hasta un nivel técnicamente factible y económicamente deseable, optimizando su proceso de producción y aumentando sus ingresos netos, respectivamente. El modelo para el cambio propuesto es la Programación Lineal por ser el método de análisis que más se ajusta a las características de la empresa.

Si se recuerda que un modelo es la abstracción de un sistema real (empresa) sus alcances y limitaciones deben ser comparadas, analizadas y evaluadas con base en las observaciones reales obtenidas en la empresa; así mismo, la bondad del modelo abstracto será más categórica cuanto más se aproxime a los objetivos de la empresa y cuanto mejor registre sus observaciones sobre las actividades críticas del

proceso.

Los resultados del modelo de Programación Lineal de este estudio se analizan y evalúan comparándolos con los resultados de una Solución Básica calculada con base en las condiciones actuales de la empresa estudiada. La formulación de la Solución Básica se llevó a cabo bajo el mismo criterio que sigue este estudio y fijando la cantidad de paneles vendidos por la empresa (en número, calidad y precios) en el período 1969-70 a fin de explicar cuantitativamente, cómo la empresa usó, en aquél período, sus disponibilidades totales de trozas y tiempo. Otra característica real que lleva consigo la Solución Básica es el criterio que implica que la empresa trabaja a un nivel corriente de operación, sin ningún manejo especial para sus elementos de manufacturación, y sin ninguna innovación en la construcción de sus paneles.

Las soluciones óptimas desarrolladas a partir de la Programación Lineal de los insumos y que compararemos con la Solución Básica, se generaron bajo dos planteamientos:

1. la empresa trabaja con tres especies de trozas las cuales concurren a un proceso de producción ordenado, que mantiene inventarios de sus insumos físicos (trozas, chapas secas), debidamente controlados; y que manufactura sus productos finales considerando las posibilidades de arreglos de chapas, para construir cada uno de los tipos de panel. En adelante este planteamiento se denominará Criterio 1.

2. la empresa trabaja sin diferenciar sus insumos de trozas o sea considera toda su disponibilidad como una sola especie y mantiene el status actual de la empresa en lo que respecta al manejo del proceso. Este planteamiento formula la optimización considerando la mejor distribución de los insumos (trozas, chapas secas) y el mejor aprovechamiento de su disponibilidad de tiempo, diferenciándose así de la Solución Básica. En adelante este planteamiento se denominará Criterio 2.

#### 4.2.1. La Solución Básica

La Solución Básica se analiza a partir del ingreso que obtuvo la empresa por la venta de ocho calidades de paneles en el período de 1969-70. (Cuadro 15) el cual ascendió a ₡1.226.880,99 que descontándole los gastos directos de ₡335.765,25 pagados por los insumos de trozas utilizados en la manufacturación de aquellos productos quedó un ingreso neto de ₡891.111,57.

Analizando el aprovechamiento de la disponibilidad de trozas de la Solución Básica se encontró sin procesar 4,13 mil pt. de troza de caobilla además de un inventario de 375,78 mil p<sup>2</sup> de chapas secas (centro largo de 1,5mm) no utilizadas. El análisis de las operaciones del proceso de manufacturación en la Solución Básica, resultó con la capacidad de instalación - referidas al tiempo disponible - subutilizadas; el torno solo usó el 18,13% de su disponibilidad, el secador el 88,19% y la prensa el 42,81% respectivamente.

Cuadro 15. Solución Básica: respuesta de producción, 1969-70.

Productos	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )	Ingresos (¢)
"Especial" 4mm	73, 40	35.349, 44
"Especial" 6mm	14, 14	8.551, 87
"Corriente" 4mm	1.685, 52	771.293, 95
"Corriente" 6mm	118, 49	68.060, 65
"Corriente" 9mm	50, 30	44.827, 36
"Corriente" 12mm	92, 67	106.162, 75
"Corriente" 15mm	80, 48	107.778, 81
"Corriente" 18mm	52, 51	84.856, 16
		1.226.880,99

Insumos	Cantidad (mil pt)	Costos (¢)
Caobilla	162, 337	60.064, 69
Fruta Dorada	154, 496	55.618, 56
Lechoso	647, 300	220.082, 00
	964, 133	335.765, 25

Ingreso neto	= ¢1.226.880,00 - ¢335.765,25 = ¢891.111,57
-----------------	---

#### 4.2.2. La Solución Optima

Como se explicó anteriormente este estudio analiza el estado actual de la empresa bajo dos criterios para su optimización, denominados Criterio 1 y Criterio 2 respectivamente.

La solución de la Programación Lineal del Criterio 1 respondió con una disminución de los tipos de productos que la empresa manufactura, de 8 que eran básicamente a 3 destacando la mejor contribución de las calidades "Especial"(4mm y 6mm) y "Corriente" de (15mm) a los objetivos de la empresa. El Criterio 1 elevó el nivel de ingresos, por ventas, a ₡1.318.783,15 gastando para los insumos trozas utilizados en la manufactura de los productos óptimos ₡337.291,87 que descontados del ingreso de ventas resultó con un saldo de ₡981.491,28 de ingreso neto (Cuadro 16).

Cuadro 16 . Optimización de la producción bajo los supuestos del Criterio 1.

Productos	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )	Ingresos (₡)
"Especial" 4mm	1.514,262	729.268,43
"Especial" 6mm	387,076	234.103,50
"Corriente" 15mm	265,391	355.411,15
		<u>1.318.783,15</u>
Insumos	Cantidad (mil pt)	Costos (₡)
Caobilla	166,463	61.591,31
Fruta Dorada	154,496	55.618,56
Lechoso	<u>647,500</u>	<u>220.082,00</u>
	968,259	337.291,87
Ingreso neto	= ₡1.318.783,15 - ₡337.291,87 = ₡981.491,28	

Al analizar la disponibilidad de trozas se encuentra que bajo los supuestos del Criterio 1 se consigue consumir todo el insumo de trozas disponibles. También, un análisis de las operaciones indicó que la empresa no está utilizando la capacidad máxima de las maquinarias al encontrar que el torno sólo gasta el 17,82% del tiempo disponible y la prensa aprovecha sólo el 63,04% de su tiempo disponible. Sin embargo el planteamiento simulado permite un mejor uso del secador, aprovechando al máximo su capacidad disponible, convirtiéndolo en un elemento restrictivo para expansiones futuras.

Analizando la espectación teórica de los resultados de la actitud empresarial simulada por el Criterio 2, se encontró también un cambio de 8 a 3 en el número de tipos de productos que la empresa debe producir. Este cambio, coincidente con el resultado obtenido bajo el Criterio 1 se diferencia de éste por las magnitudes de producción que asigna el Criterio 2 a cada producto. La contribución combinada de todos estos productos, en la formación del ingreso de la empresa, significó un nivel de \$1.341.728,49, que descontado de los gastos directos de \$336.954,13 pagados para los insumos trozas necesarios a lograr esos productos, resultó un ingreso neto para la empresa de \$1.004.774,43 (Cuadro 17).

Al analizar la disponibilidad de trozas, en esta solución, se encontró que la producción de los paneles óptimos, programados bajo este Criterio 2, consumió toda la disponibilidad de trozas. En el análisis de las operaciones se encontró que la empresa aprovechó toda la capacidad instalada de la secadora y dejó subutilizado al torno y la prensa que sólo gastaron el 18,47% y el 61,81% de sus tiempos disponibles, respectivamente.



Cuadro 17 . Optimización de la producción bajo los supuestos del Criterio 2.

Productos	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )	Ingresos (₡)
"Especial" 4mm	1.760,677	847.941,95
"Especial" 6mm	161,185	97.484,45
"Corriente" 15mm	295,925	396.302,09
		<u>1.341.728,49</u>

Insumos	Cantidad (mil pt)	Costos (₡)
Trozaz	968,259	336.954,13

Ingreso  
neto = ₡1.341.728,49 - ₡336.954,13 = ₡1.004.774,43

El Criterio 2 señala también que el elemento secador es restrictivo para la expansión futura de la empresa; sin embargo, una mejor disposición de los insumos, en un número reducido de productos de alta contribución económica, favoreció al aprovechamiento de la disponibilidad total del secador e incrementó el nivel de ingresos de la empresa.

#### 4.2.3. Análisis comparativo de los resultados obtenidos

La solución Básica destacó las características actuales más

saltantes de la empresa explicando que es una unidad de procesamiento que esta trabajando a un nivel de operación inferior a su capacidad máxima, relacionada al tiempo disponible. Con ello se explicó también que la empresa deja de aprovechar su capacidad disponible manteniendo un alto porcentaje de tiempo de labor ocioso en cada operación: subutiliza al torno 81,87% de su capacidad, el secador 11,81% y la prensa 57,19% respectivamente (Cuadro 20).

La Solución Básica también indica que el elevado número de calidades de productos que manufactura la empresa no obedece a ningún plan de operación para maximizar sus beneficios. Esto complica seriamente las decisiones sobre cuál? de cuál? cómo? y en qué magnitud?, debèn existir los insumos (trozas, chapas secas) que la empresa necesita para operar su producción de paneles y evitar excedentes de chapas, tan altos como los registrados por nuestra propia Solución Básica. Todo esto parece indicar el escaso conocimiento de la empresa acerca de la actividad o actividades que mejor podrían aproximarse a los objetivos empresariales. También implica que la estructura de las ventas de la empresa esta mayormente influida desde afuera, con órdenes específicas de pedidos de algún o algunas calidades de productos.

El Criterio 1 propone las actividades de la empresa diferenciando los insumos físicos (trozas y chapas secas), y consigue disminuir los tipos de productos de la empresa de 8 a 3, a la vez que consumir todo el insumo físico disponible, dando como resultado una elevación del ingreso neto de la empresa en un 10,33% con relación al ingreso neto básico.

En cambio, el Criterio 2 simuló a la empresa trabajando sin diferenciar sus insumos físicos, o sea considerándolos como una sola especie. Este criterio optimizó la empresa estableciendo el consumo total del insumo disponible en la producción de tres tipos de productos óptimos; señalando a las calidades "Especial" (4mm y 6mm) y "Corriente" (15mm) como los mejores contribuyentes al ingreso de la empresa. Este criterio 2 aumentó el nivel de ingreso neto en un 12.90% sobre el nivel de la Solución Básica, en un 2.3% sobre el Criterio 1 (Cuadro 18 y 19).

Los Criterios 1 y 2 concuerdan en la disminución de los tipos de productos que fabrica la empresa, como una primera medida hacia la optimización del proceso. Con igual propósito utilizan al máximo las disponibilidades de tiempo del secador convirtiéndolo en un elemento restrictivo para expansiones futuras, exigiendo a la vez, una mejor disposición de los insumos que se deseen procesar a fin de aprovechar mejor la capacidad de este elemento.

En cuanto al gasto de las disponibilidades de tiempo por cada operación se encontró que el torno y la prensa mantienen un comportamiento casi uniforme para los dos Criterios de comparación, pero en relación con la Solución Básica la prensa aumenta un 20% su nivel de aprovechamiento y el torno se mantiene indiferente (Cuadro 20).

De todo este análisis comparativo destaca el Criterio 2 como el más compatible con los objetivos de la empresa: proponiendo actividades factibles que contribuyen a elevar en 12,90% el nivel de ingreso neto de la empresa relacionado a la situación actual.

Cuadro 18 . Análisis comparativo de operaciones: Solución Básica, Criterio 1 y Criterio 2

Tipo Panel	Trozas No.	Cantidad de Recursos Físicos		Gastos Directos		Inventarios	
		Comprado	Consumido	Trozas total	Trozas insumidas	Trozas	, Chapas
Criterio 2	3	1	968.259 pt	968.259 pt	336.954,13	336.954,13	---
Criterio 1	3	3	968.259 pt	968.259 pt	337.291,87	337.291,81	---
Solución Básica	8	1	968.259 pt	964.133 pt	337.291,87	335.765,25	4.126 pt 356.171 p2

Cuadro 19 . Análisis económico comparativo: Solución Básica, Criterio 1 y Criterio 2

Productos óptimos ( cantidad )	Ingresos brutos ( \$ )	Costos ( \$ )	Ingresos netos ( \$ )	% Optimización Sobre S. B. *	
Criterio 2	3	1.341.728,49	336.954,13	1.004.774,43	12,90
Criterio 1	3	1.313.783,15	337.291,87	981.491,28	10,30
Solución Básica	8	1.226.880,99	335.765,25	891.111,25	---

\* S.B. = Solución Básica

Cuadro 20 . Uso de las capacidades de instalación: Solución Básica, el Criterio 1 y Criterio 2.

	Torno (%)	Secador (%)	Prensa (%)
Criterio 2	18, 47	100, 00	61, 81
Criterio 1	17, 82	100, 00	63, 04
Solución Básica	18, 33	88, 19	42, 81

Resumiendo este análisis comparativo se infiere que si la empresa cambia hacia la alternativa supuesta por el Criterio 1 se mejorará su nivel de ingreso en un 10, 30% sobre la Solución Básica, pero requerirá de una mayor especialización y ordenamiento de su proceso de producción, debiendo reestructurar el manejo de sus inventarios y recursos físicos disponibles. En cambio, los supuestos del Criterio 2 optimizan mejor el nivel de producción de la empresa consiguiendo elevarlo hasta un 12, 90% sobre la solución Básica y su aplicación en la empresa propone actividades técnicamente factibles con relación a su situación actual y no es tan exigente como el Criterio 1; es decir, que implica las mismas características de proceso identificadas en la Solución Básica pero con un mejor nivel de aprovechamiento y producción óptima.

Leyenda de identificaciones: Matriz de la Programación Lineal de los insumos de la empresa

1. Panel

Identificación:	X001, X002, ....., X242.
Calidad "Especial"	A
"Corriente"	B
Tipo:	4, 6, 9, 12, 15, 18

2. Troza-especie

Caobilla	MA
Fruta dorada	GO
Lechoso	GU
Sin diferenciar	S

3. Chapa-grado : para cualquier troza-especie

Cara o espalda	1, 5mm	A	1
Centro corto	1, 5mm	B	1B
Centro corto	3, 0mm	C	3, 3C
Centro largo	1, 5mm	D	1
Centro largo	3, 0mm	E	3

## 3. Disponibilidad de recursos

i) Trozas

$C_o$	=	166.463	pt
$C_p$	=	154.496	pt
$C_q$	=	647.300	pt
$C_r$	=	267.187	pt
$C_s$	=	991.404	pt
$C_t$	=	968.259	pt
$D_t$	=	1.258.591	pt

ii) Insumo horario: Tiempo

$E_1$	$\leq$	50.000
$F_2$	$\leq$	200.000
$F_3$	$\leq$	100.000
$F_4$	=	103.987
$F_5$	=	195.130
$F_6$	=	140.790

4. Precios de venta 1000 p<sup>2</sup> panel / 1000 p<sup>2</sup>

$C_1$	=	¢ 481,60
$C_2$	=	604,80
$C_3$	=	457,60
$C_4$	=	574,40
$C_5$	=	891,20

$$D_6 = 1.145,60$$

$$D_7 = 1.339,20$$

$$D_8 = 1.616,00$$

5. Costos de compra 1000 pt troza-especie

$$C_a = \text{¢ } 370,00$$

$$C_b = 360,00$$

$$C_c = 340,00$$

$$C_d = 348,00$$

6. Coeficientes de conversión o productividad

i) Coeficientes estructurales panel/chapa

$$1 = 1 \text{ mil p}^2 \text{ chapa}$$

$$A = 2 \text{ mil p}^2 \text{ chapa}$$

$$A_3 = 3 \text{ mil p}^2 \text{ chapa}$$

ii) Coeficientes de conversión chapa/troza

$$A_a = 3.700 / 1000 \text{ pt}$$

$$T_b = 500 / 1000 \text{ pt}$$

$$T_c = 300 / 1000 \text{ pt}$$

$$A_t = 4.500 / 1000 \text{ pt}$$

$$A_d = 8.299 / 1000 \text{ pt}$$

$$A_e = 1.771 / 1000 \text{ pt}$$



$A_f$	$\approx$	1.443 /1000 pt
$B_t$	$\approx$	11.513 /1000 pt
$A_g$	$\approx$	6.474 /1000 pt
$A_q$	$\approx$	4.374 /1000 pt
$A_r$	$\approx$	2.100 /1000 pt
$A_s$	$\approx$	6.474 /1000 pt
$A_i$	$\approx$	7.136 /1000 pt
$A_j$	$\approx$	1.152 /1000 pt
$T_k$	$\approx$	923 /1000 pt
$A_m$	$\approx$	9.211 /1000 pt
$A_n$	$\approx$	3.308 /1000 pt
$A_o$	$\approx$	1.774 /1000 pt
$A_p$	$\approx$	5.082 /1000 pt
$A_u$	$\approx$	6.730 /1000 pt
$A_v$	$\approx$	1.138 /1000 pt
$T_w$	$\approx$	898 /1000 pt
$A_x$	$\approx$	8.766 /1000 pt
$A_y$	$\approx$	3.551 /1000 pt
$A_z$	$\approx$	1.859 /1000 pt
$A_{yz}$	$\approx$	5.410 /1000 pt

## iii) Coeficientes de productividad tiempo/máquina

## a) Coeficientes producto/proceso: Prensa

B <sub>1</sub>	=	26,25 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>2</sub>	=	51,20 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>3</sub>	=	87,36 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>4</sub>	=	92,16 minutos/1000 p <sup>2</sup>
C <sub>6</sub>	=	108,16 minutos/1000 p <sup>2</sup>
C <sub>7</sub>	=	155,52 minutos/1000 p <sup>2</sup>

## b) Coeficientes recurso/producto: Torno

A <sub>5</sub>	=	11,25 minutos/1000 pt
A <sub>6</sub>	=	28,21 minutos/1000 pt
A <sub>7</sub>	=	15,86 minutos/1000 pt
A <sub>8</sub>	=	22,57 minutos/1000 pt
A <sub>9</sub>	=	12,45 minutos/1000 pt
A <sub>10</sub>	=	21,47 minutos/1000 pt
A <sub>11</sub>	=	13,25 minutos/1000 pt

## c) Coeficientes recurso/producto: Secador

B <sub>5</sub>	=	12,15 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>6</sub>	=	24,63 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>7</sub>	=	19,00 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>8</sub>	=	30,43 minutos/1000 p <sup>2</sup>

B <sub>9</sub>	=	85,01 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>10</sub>	=	43,40 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>11</sub>	=	74,85 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>12</sub>	=	42,28 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>13</sub>	=	13,54 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>14</sub>	=	26,07 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>15</sub>	=	77,37 minutos/1000 p <sup>2</sup>
B <sub>16</sub>	=	42,68 minutos/1000 p <sup>2</sup>

## 7. Simulaciones

B01	=	Solución Básica
B03	=	Criterio 1
B07	=	Criterio 2
B08	=	Criterio 3
B09	=	Criterio 4

## 8. Ventas mil p<sup>2</sup>/panel

B <sub>41</sub>	=	73,40
B <sub>61</sub>	=	14,14
D <sub>41</sub>	=	1.685,52
C <sub>61</sub>	=	118,49
B <sub>91</sub>	=	50,30
B <sub>121</sub>	=	92,67
B <sub>151</sub>	=	80,48
B <sub>181</sub>	=	52,51

## 9. Otras identificaciones

E	=	nivel de venta sin fijar
L	=	limite del nivel de insumos o recursos
Y	=	insumos ó recursos fijos

## 5. DISCUSION

A través del análisis de las respuestas se observó que el Modelo de Programación Lineal aproxima de manera concreta hacia la maximización de los objetivos de la empresa. Sin embargo la sola optimización de una situación básica no es suficiente para declarar que el modelo aplicado para su estudio es el mejor. Si se recuerda que la empresa es una unidad de operación capaz de tomar decisiones y suponemos que decide adoptar un cambio en sus niveles de disponibilidad de trozas, surge la pregunta: qué sucederá ahora que la empresa decidió aumentar sus insumos físicos?, podrá seguir procesando paneles, considerando que el secador es restrictivo?

La presentación de una alternativa real que cambie los niveles de disponibilidad de la empresa invita a discutir el comportamiento operativo de la empresa encaminado a maximizar el nivel de ingreso de la misma. Para esta discusión se simula la decisión tomada por la empresa de aumentar sus insumos físicos hasta el nivel pronosticado para el año 1970-71 (Cuadro 2 del Apéndice 6). La simulación propuesta se plantea bajo dos supuestos, denominados en adelante Criterio 3 y Criterio 4, respectivamente.

El Criterio 3 supone que la empresa trabajará solamente con dos especies de trozas; dejará de comprar trozas de caobilla por razón de su precio elevado y escasez de oferta; que la cantidad de piés tablares pronosticados para caobilla (223.945 pt) y otras maderas (8.442 pt) agregados

a los de fruta dorada (34.800 pt) constituirán la magnitud equivalente a la disponibilidad de fruta dorada; que la disponibilidad de lechoso será de 991.404 pt; y que la empresa procesará sus productos intermedios y finales ordenadamente, como en el Criterio 1.

El Criterio 4, al igual que el Criterio 2 supone que la empresa trabajará toda su disponibilidad de insumos (trozas) como una sola especie; que la conversión chapa/troza y los otros coeficientes de conversión obedecen a factores de conversión combinada, calculados a partir de los coeficientes técnicos de conversión utilizados para la solución óptima conseguida por el Criterio 2 (Apéndice 8B); y que su disponibilidad de trozas será de 1.258.591 pt; o sea el equivalente a la suma de piés tablares disponibles en el Criterio 3.

El análisis del Criterio 3 señala que la empresa debe dedicarse a producir sólo 3 tipos de productos "Corriente" (9mm, 12mm, 15mm) que contribuirán al ingreso de la empresa con ₡1 112.300,13 a un costo de ₡256.816,24 por concepto de trozas pagadas por la empresa, para producir los paneles óptimos señalados; que descontado del ingreso de ventas significa un saldo de ₡855.483,89 como ingreso neto para la empresa (Cuadro 21).

Analizando el ordenamiento que simula este Criterio 3, para la manufactura de los paneles, explica que dejó de procesar 518,97 mil pt de troza de lechoso acumulando un inventario adicional de 122,31 mil p<sup>2</sup> de chapas secas (centro largo 1,5mm) no utilizados de fruta dorada (Cuadro 23). En cuanto al empleo que las operaciones hacen de su

disponibilidad de tiempo se halló que el Criterio 3 emplea toda la disponibilidad del secador, haciéndolo restrictivo; no así en el torno que sólo usa 12,62% de su disponibilidad y la prensa que aprovecha el 66,08% disponible (Cuadro 24).

Cuadro 21 . Optimización de la producción de la empresa bajo los supuestos del Criterio 3.

Productos	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )	Ingresos (₡)
"Corriente" 9 mm	223,665	199,330,25
"Corriente" 12 mm	664,856	761,659,03
"Corriente" 15 mm	112,986	<u>151,310,85</u>
		1.112.300,13
Insumos	Cantidad (mil pt)	Costos (₡)
Fruta Dorada	267,187	96.187,32
Lechoso	<u>472,438</u>	<u>160.628,92</u>
	739,625	256.816,24
<hr/>		
Ingreso neto	= ₡1,112.300,13 - ₡256.816,24 = ₡855.483,89	

El planteamiento simulado en el Criterio 4 responde, al analizarlo, con una disminución de los tipos de producto de la empresa a sólo

dos, señalando como los tipos óptimos al "Especial" 4mm y al "Corriente" 15 mm, sugiriendo para cada uno de ellos magnitudes de producción, que combinadas, contribuyen al ingreso de la empresa con ¢1.633.567,19. El gasto que registra para procurar todos los productos propuestos asciende a ¢437.989,67 dejando un ingreso neto de ¢1.195.577,52 (Cuadro 22),

Cuadro 22 . Optimización de la producción de la empresa bajo los supuestos del Criterio 4.

Productos	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )	Ingresos (¢)
"Especial" 4mm	3.323,33	1.600.515,73
"Corriente" 15mm	24,68	<u>33.051,46</u>
		1.633.567,19
Insumos	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )	Costos (¢)
Trozos	1.258,591	437.989,67
Ingreso neto		= ¢1.633.567,19 - ¢437.989,67 = ¢1.195.577,52

El Criterio 4 maneja mejor el proceso y la producción de los productos óptimos señalados; consume todo el insumo físico disponible en trozos, aunque dejará en la planta un inventario de 844,10 mil p<sup>2</sup>



de chapas (centro largo 1, 5mm) sin utilizar (Cuadro 23). En cuanto a la disponibilidad operacional ocupa el 25, 89% del tiempo del torno, el 64, 59% de la prensa y el 100% del secador, haciéndolo también restrictivo (Cuadro 24).

Cuadro 24. Uso de las capacidades de instalación: Criterio 3 y Criterio 4

	Torno (%)	Secador (%)	Prensa (%)
Criterio 4	25, 89	100, 00	64, 59
Criterio 3	12, 62	100, 00	66, 08

Los Criterios 3 y 4 traen a la discusión aspectos interesantes. La decisión hecha por la empresa de aumentar su disponibilidad de trozas correspondió a un aumento del 29, 85% en sus gastos para la compra de insumos físicos, lo que equivalió también a aumentar su disponibilidad en un 29, 98% (290. 332 pt). El efecto de esta decisión no alcanzó en el Criterio 3, a igualar el nivel de ingreso neto de la Solución Básica. Pero este tipo de decisión, manejada por el Criterio 4 significó incrementar en un 21, 40% más el ingreso neto de la empresa relacionado al Criterio 2 que ya anteriormente había optimizado el proceso y elevado su nivel económico de beneficios a 12, 90%, sobre la Solución Básica (Cuadro 25)

Los resultados de los Criterios 3 y 4 coinciden en que el ordenamiento de los insumos físicos (trozas, chapas secas) de la empresa,

Cuadro 23 . Análisis comparativo de operaciones: Criterio 3 y Criterio 4

Tipo Panel	Especies No.	Cantidad de Recursos comprado	Recursos Físicos consumido	Gastos Directos		Inventarios	
				Trozos total	Trozos insumidas	Trozos	Chapas
Criterio 4	2	1. 258, 591 pt	1. 258. 591 pt	Φ437. 989, 67	Φ437. 989, 67	---	844. 103
Criterio 3	3	1. 258, 591 pt	739. 625 pt	434.264, 68	256. 816, 24	518. 966 pt	122. 305

Cuadro 25 . Análisis económico comparativo de las Soluciones Optimas.

	Productos óptimos No.	Ingresos brutos (₡)	Costos (₡)	Ingresos netos (₡)	% Optimización sobre S.B.*
Criterio 4	2	1.633.567,19	437.989,67	1.195.577,52	34.30
Criterio 3	3	1.112.300,13	256.816,24	855.483,24	no optimizó
Criterio 2	3	1.341.728,49	336.954,13	1.004.774,43	12.90
Criterio 1	3	1.318.783,15	337.291,87	981.291,28	10.30
Solución Básica	8	1.226.880,99	335.765,25	891.111,25	Base

\* S.B. = Solución Básica

diferenciados en calidades, no es el mejor sistema para la toma de decisiones de la empresa, reafirmando las respuestas de los Criterios 1 y 2. De otra manera, los Criterios 2 y 4 respectivamente, manejan mejor las disponibilidades (de insumos y de operaciones) disminuyendo los inventarios físicos (trozas, chapas) no utilizados y aumentando los ingresos netos de la empresa.

Los 4 Criterios analizados contraen la actividad de la empresa en la operación del secador, haciéndolo restrictivo; pero el Criterio 4 explica que aunque éste elemento contraiga el proceso de manufacturación de paneles una mejor combinación de los insumos y una disminución técnicamente factible de los tipos de productos permite al secador producir más cantidad de chapas secas en el mismo tiempo disponible.

Observando la disponibilidad histórica de trozas (Cuadro 1 del Apéndice 5) ocurrida en la empresa, es posible notar que la magnitud promedio de piés tablares que han hecho posible la labor de la empresa se establece alrededor de un nivel promedio de 1.007, 014 pt. de troza al año. Esta situación de disponibilidad puede acusarse a razones de dificultades en el poder adquisitivo de la empresa o a decaimientos en la oferta de la materia prima por escasez o por la deficiente infraestructura física, que no permitió atender a la empresa en sus necesidades y posibilidad económica de comprar más trozas. El motivo de esta discusión está dirigido al Criterio 4 que decidió en su planteamiento aumentar su disponibilidad de trozas a 1.258, 591 pt. Entonces, si la

empresa no logra cubrir, por lo menos, el nivel de disponibilidad de trozas simulado por el Criterio 4 no se podrán maximizar los objetivos de la empresa y el insumo trozas será el causante de la contracción del proceso programado.

## 6. CONCLUSIONES

1. El modelo de Programación Lineal propuesto es compatible con los objetivos de la empresa, técnica y económicamente: es decir, que la empresa puede producir técnicamente los productos señalados por la solución óptima y económicamente son éstos los productos que mejor contribuyen a maximizar el ingreso neto de la empresa. El requisito técnico, limitante para la aplicación del modelo de Programación Lineal, cuando se trata de combinar un número elevado de variables, lo constituye la necesidad de usar un computador con capacidad de memoria mayor a 50K. Otra limitación, estriba en que las características del modelo de Programación Lineal no satisface plenamente el principio de economía de escala o la ley de los rendimientos decrecientes.
2. El ingreso neto de la empresa fue optimizado, en sus condiciones actuales con un nivel del 12, 90% más alto que el nivel de ingreso neto básico que experimentó la empresa en 1969-70; contribuyendo con \$1.004.774, 43 al aumento de los beneficios de la empresa.
3. El Criterio 4 concluye que la empresa puede manejar mejor su capacidad de instalación. Esto implica que los recursos trozas deben aumentar y la producción manejarse hacia el proceso especializado de paneles "Especial" 4mm y "Corriente" 15mm que tienen el valor de contribución más alto y elevan el nivel de ingreso de la empresa hasta un 34, 30% sobre el nivel que ésta experimentó en el período 1969-70

5. Los Criterios 2, 3 y 4 hallaron que el secador es restrictivo, tanto al proceso como para expansiones futuras de la producción. Así mismo las decisiones de la empresa, para aumentar su nivel de producción, son contraídas por la escasa oferta de trozas.

## 7. RESUMEN

En esta investigación se analiza el proceso de la producción de una empresa de contrachapado en Costa Rica. El objetivo principal del estudio es optimizar la combinación entre los recursos disponibles y la capacidad de instalación de la empresa, tal que el beneficio (ingreso neto) de la empresa sea máximo.

Este estudio supone básicamente que la empresa utiliza deficientemente su capacidad de instalación. Sin embargo, se propone que esta situación puede optimizarse cambiando hacia un nivel técnicamente factible y económicamente deseable.

El modelo de programación lineal usado en este estudio resume las interrelaciones de los factores y actividades de producción pudiendo decidir simultáneamente sobre cada uno de estos elementos. Sistemáticamente, la investigación operacional logra formar las combinaciones de producción hasta un nivel compatible con los intereses de la empresa.

Los resultados obtenidos se evalúan comparándolos con una Solución Básica que define la actividad de la empresa correspondiente a 1969-70, fijando la cantidad de paneles vendidos en ese período, a fin de explicar cuantitativamente cómo la empresa usó sus disponibilidades de trozas, tiempo y capacidad de instalación. El análisis de la Solución Básica indica que la empresa obtuvo un ingreso de ₡1.226.880,99 por la venta de ocho calidades de panel, con un costo de ₡335.765,25 pagado para trozas, dando un ingreso neto de ₡891.111,57. Además el análisis de las operaciones indica una subutilización de la capacidad de instalación.



Los resultados de esta investigación se plantean bajo dos criterios. El Criterio 1 supone a la empresa trabajando con tres especies de trozas (Guarea spp., Virola spp., Brosimum sp.) y un proceso de producción ordenado; su análisis indica tres productos óptimos que contribuyen a elevar el ingreso neto de la empresa hasta un 10,33% sobre la Solución Básica. El Criterio 2 supone a la empresa trabajando con su disponibilidad de trozas como una sola especie y bajo las mismas condiciones de procesamiento ~~definidas~~ por la Solución Básica y formula la optimización considerando un mejor aprovechamiento de los recursos y la maquinaria.

El análisis del Criterio 2 responde con tres productos óptimos que optimizan el ingreso neto de la empresa elevándolo hasta 12,9% sobre la Solución Básica y 2,3% sobre el nivel del Criterio 1.

Para evaluar y discutir la bondad del modelo aplicado se simuló dos alternativas de producción aumentando la disponibilidad de trozas de la empresa hasta 1.258.591 pt., como variable común. Un Criterio 3 simuló a la empresa trabajando con sólo dos especies (Virola spp. y Brosimum sp.) y con un proceso ordenado; su análisis señaló tres productos óptimos cuyas contribuciones a la formación del ingreso no superaron el nivel de ingreso neto de la Solución Básica. Un Criterio 4 supone a la empresa trabajando su disponibilidad de trozas como una sola especie y observando los mismos planteamientos del Criterio 2. El análisis del Criterio 4 estableció que la empresa sólo debe producir dos productos óptimos cuyas contribuciones elevarán el nivel de ingreso neto de la empresa hasta un 34,3% sobre la Solución Básica.

Se concluye que la empresa está en capacidad de elevar su nivel de ingreso neto hasta 12,9% con un mejor ordenamiento de sus actividades regulares. Así mismo la empresa podrá incrementar su ingreso neto hasta un 34,3% con relación al nivel esperado en el período 1969-70 decidiendo aumentar sus recursos de producción (trozas) y especializando el proceso en la calidades de paneles "Especial" 4mm y "Corriente" 15 mm.

## 8. SUMMARY

This investigation is an analysis of the production process of a plywood plant in Costa Rica. The main objective of the study is to optimize the combination of available resources with the installed capacity of the firm; such a result will give maximum net income to the firm.

In this study it is assumed that the firm now utilizes inadequately the installed capacity. It is further assumed that it is possible to improve the situation by making optimum combinations of activities that are technically possible and economically desirable.

The linear programming model used in this study brings together interrelations of all factors of production and significant process activities, making it possible to decide simultaneously on such events. Systematically through operations research, various combinations are made until an optimum solution is found that is compatible with the interest of the firm.

The results obtained were compared to a Basic Solution; which is defined as the operating level of the firm during 1969-70 which fixes the amount of panels sold and simultaneously shows how the firm used its log supply, available time and its installed capacity. The analysis of the Basic Solution indicates that the firm made an income of ₡1,226,880.99 from sales of eight grades of panels and at a cost of ₡335,765.25, paid for logs, giving a net income of ₡891,111.57. In addition it is evident that some under-utilization of capacity existed.

The results of this research are based on two sets of criterion. The Criterion 1 supposes that the firm works with three species of logs (Guarea spp., Virola spp. and Brosimum sp.) and sorts its veneer in an orderly manner; and under such conditions three grades of panels would be optimum, which raises net income 10, 33% above the Basic Solution. The Criterion 2 supposes that the firm works its logs supply as if it were one single species and the other conditions brings equal to those of the Basic Solution. Analysis of Criterion 2 shows that three grades of panels would optimize net income and would raise net income of the firm 12, 9% above the Basic Solution.

In order to discuss the results of this application, two additional alternatives are considered which increased the log supply available to the firm to 1,258,591 board feet. The Criterion 3 simulation shows the firm working with only two species of logs (Virola spp. and Brosimum sp) and sorting its veneer in an orderly manner. Such condition indicate three grades of panels would give optimum results, but the net income is not better than the Basic Solution. The Criterion 4 simulates the firm working its log supply as if it were one single species, and with the other conditions the same as were observed in Criterion 2. This solution shows that the firm need produce only two grades of panels and would increase net income 34, 3% above the Basic Solution.

The conclusion is that the firm is able to increase its net income 12, 9% by programming its current activities better. It was also shown that the firm could increase its net income 34, 3% in relation to the base period 1969-70, if it decided to increase its log supply and specialize in producing the two grades of panels "Special" 4mm and "Regular" 15mm.

## 9. LITERATURA CITADA

1. BABBAR, M. M. On deriving an optimum farm production program by linear programming. *Estadística* 15(54):40-52. 1957.
2. COSTA RICA. DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA Y CENSOS. Anuario estadístico de Costa Rica, 1968. San José, 1970. pp. 3, 12.
3. DEMAS, T. Basic plywood processing, Tacoma, Washington. American Plywood Association, 1967. 29 p.
4. DONNELLY, R. H. Linear programming in plywood manufacturing. In I. B. M. Seminar on Operations Research in the Forest Products Industry, San Francisco, California, 1965. Proceedings. Los Angeles, I. B. M., 1966. pp. 22-39.
5. DORFMAN, R. Operations research. *American Economic Review* 50(4):575-623. 1960.
6. \_\_\_\_\_. Programación lineal: su aplicación a la teoría de la empresa. Traducido del inglés por Alfonso García Barbancho. 2a. ed. Madrid, Aguilar, 1962. 133 p.
7. FASICK, C. A. Formulation of a linear programming model. In Operations Research application to Sawmills, Athens, Georgia, 1969. Proceedings. Athens, University of Georgia, 1969? pp. 25-29.
8. \_\_\_\_\_ y SAMPSON, G. R. Applying linear programming in forest industry. U.S. Forest Service, Research Paper SO-21. 1966. 12 p.
9. \_\_\_\_\_ y SAMPSON, G. R. Can mathematical programming improve sawmill profits? *Southern Lumberman* 217(2704):155-156. 1968.
10. FAUX, M. CH., Jr. Managing complexity using composite economics models and linear programming. *Forest Products Journal* 20 (8):24-38. 1970.
11. FORSTER, R. B. Optimizing the market allocation of hardwood timber in multiple product situations. Ph.D., thesis. Indiana, Purdue University, 1967. 174 p.

12. GUTTENBERG, S. Veneer yields from Southern pine bolts. Forest Products Journal 17(12):30-32, 1967
13. HEADY, E. O. y CANDLER, W. Linear programming methods. 3a. ed. Ames, Iowa State University Press, 1963. 597 p.
14. INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL. Informe sobre la industria de la madera en Centroamérica. Guatemala, 1967. 558 p.
15. JOYCE, A. T. A methodology for forest resources and forest industry planning in developing countries in tropical areas: with a case study in Costa Rica. Ph. D., thesis. Syracuse, State University, College of Forestry, 1969. 375 p.
16. KAUFMANN, A. Métodos y modelos de la investigación de operaciones. Traducido del francés por J. A. Lanuza Escobar. México, D. F., CECOSA, 1961. 560 p.
17. McMILLAN, C. y GONZALEZ, R. F. Systems analysis: a computer approach to decision models. Illinois, Richard D. Irwin, Inc., Homewood. 1965. p. ? (Original no consultado citado por Forster, R. B. Optimizing the market allocation of hardwood timber in multiple product situations. Ph. D, thesis. Indiana, Purdue University, 1967. p. 34.
18. MESA VAGE, C. y GIRARD, J. W. Tables for estimating board-foot volume of timber. Washington, D. C., U. S. Department of Agricultural, Forest Service, 1956. 94 p.
19. OPERATIONS RESEARCH. Tool for growth a Boise Cascade. Forest Products Journal 16(2):6-7. 1966.
20. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La madera: tendencias y perspectivas mundiales. FAO. Estudio Básico no. 16, 1967. 134p.
21. PENICK, E. B., Jr. Linear programming: application to machine loading in a furniture plant. Forest Products Journal 18(2):29-34. 1968
22. RAMSING, K. D. Linear programming for the plywood mix problem. Forest Products Journal 18(4):98-101. 1968.

23. SAMPSON, G. R. A review of operation research application to Sawmill. In Operations Research application to Sawmills, Athens, Georgia, 1969. Proceedings. Athens, University of Georgia, 1969?. pp. 5-12.
24. \_\_\_\_\_ y FASICK, C. A. Operations research application in lumber production. Forest Products Journal 20(5) :12-16. 1970.

A P E N D I C E



## LISTA DE APENDICES

<u>Apéndice</u>	<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
1		Unidades de conversión.....	90
2		Definición de términos.....	91
3	1	Ecuaciones de ajuste para las ventas de la empresa.....	93
3	2	Tendencia de la venta de paneles observada 1967-70 y esperada 1970-75 (unidades de paneles).....	94
4		Cubicación de trozas.....	95
4	1	Comparación de cubicación de trozas: Smalian, T. C. R. y Tabla Doyle.....	96
5	1	Disponibilidad de trozas, 1967-70. (compras promedio mensual y anual) ..	97
5	2	Distribución anual de las compras de trozas de la empresa, 1967-70 (en porcentaje).....	98
5	3	Distribución diamétrica de las trozas compradas por la empresa (en porcentaje).....	98
6	1	Ecuaciones para el ajuste de la tendencia de disponibilidad de trozas o piés tablares de la empresa.....	99
6	2	Disponibilidad esperada de insumos físicos para 1971-75 (trozas y piés tablares).....	100
7	1	Ecuaciones de ajuste de la conversión chapa/troza-diámetro (por especie, grado y grosor).....	101

<u>Apéndice</u>	<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
7	2	Producción estimada de chapas, para cada especie y clase diamétrica.....	102
8	A	Determinación de un coeficiente de conversión chapa/troza.....	103
8	B	Determinación de un coeficiente combinado de conversión chapa/troza.....	104
8	C	Los coeficientes combinados de conversión chapa/troza.....	104
9		Determinación del tiempo promedio de mantenimiento por operación.....	105
10	A	Determinación del tiempo de desenrollo para conseguir 1000 p <sup>2</sup> de chapas	106
10	B	Determinación del tiempo de desenrollo para 1000 pt.....	107
11	A	Determinación del coeficiente de tiempo de secado para 1000 p <sup>2</sup> chapa-especie.....	108
11	B	Determinación del coeficiente combinado de tiempo de secado para 1000 p <sup>2</sup> /chapa.....	108
11	C	Los coeficientes combinados de tiempo de secado para 1000 p <sup>2</sup> de chapa utilizados en el Diseño de Programación Lineal.....	109
12		Determinación del coeficiente de tiempo de prensado para 1000 p <sup>2</sup> tipo/panel	110
13	1	Programación de las actividades óptimas, para la empresa. Programación del Criterio 2.....	111
13	2	Programación del Criterio 4.....	113

<u>Apéndice</u>	<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
14		Precios pagados por pié tablar de troza 1969-70.....	117
15	Fig. 1	Construcción de paneles, arreglo de chapas.....	118
16		Forma 1. Tarjeta de control: Trozas.....	119
16		Forma 2. Tarjeta de control: Torno.....	119
16		Forma 3. Tarjeta de control: Secador.....	120
16		Forma 4. Tarjeta de control: Prensa.....	120

## Apéndice 1

Unidades de Conversión

<u>Unidad</u>	<u>Abreviatura</u>	<u>Valor</u>	
Pulgada	pulg	0,0254	metros (m)
Pulgada cuadrada	pulg <sup>2</sup>	0,0006457	m <sup>2</sup>
Pié	p	12,0	pulg
		0,3048	m
Pié cuadrado	p <sup>2</sup>	0,0929	m <sup>2</sup>
Pié cúbico	p <sup>3</sup>	0,0283	m <sup>3</sup>
Pié tablar	pt	0,0023597	m <sup>3</sup>
Metro cúbico	m <sup>3</sup>	424,0	pt
		35,31	p <sup>3</sup>
Pié cúbico	p <sup>3</sup>	12,0	pt

Otras Unidades

Un panel estándar      4 piés x 8 piés  
 Area panel estándar    4 p    x 8 p    = 32 p<sup>2</sup>

Volumen de paneles estándar:

4mm = 0,01337 m<sup>3</sup>  
 6mm = 0,01783 m<sup>3</sup>  
 9mm = 0,02675 m<sup>3</sup>  
 12mm = 0,03566 m<sup>3</sup>  
 15mm = 0,04458 m<sup>3</sup>  
 18mm = 0,05349 m<sup>3</sup>

Moneda: Colón de Costa Rica (₡)

1 Colón = 0,151 dollar (precio de compra)  
 0,150 dollar (precio de venta)

Año presupuestal : Octubre - Setiembre

## Apéndice 2

Definición de Términos \*

1. Canteado. Operación que consiste en cortar el canto de una chapa lo más recto y cuadrado posible. Tal operación constituye una condición previa, indispensable para el juntado.
2. Cara. Superficie de un panel por la que principalmente se juzga la clase o calidad. Cuando las dos superficies son de la misma calidad, ambas reciben el nombre de cara.
3. Centro o alma. Chapa central de un panel. Puede ser de madera maciza, tablero de fibra, tablero de partícula o chapa propiamente dicha.
4. Contrachapar. Operación que consiste en encolar una chapa de modo que la fibra forme ángulo recto con la fibra de la madera o chapa a ella adyacente, a fin de reducir al mínimo el hinchamiento y la contracción y aumentar la estabilidad de la construcción.
5. Chapa. Capa o lámina delgada de madera de espesor uniforme, cortada por desenrollo, rebanada o aserrada para su empleo en tableros contrachapados, construcciones laminadas, muebles, envases etc.
6. Espalda o contracara. Superficie de un tablero, opuesto a la cara.

---

\* ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera. Roma, FAO. 1968. 250 p.

7. Hoja. Cada una de las chapas de un tablero contrachapado.
8. Juntado o empalme. Unión de chapas para formar hojas más anchas pasándolas longitudinalmente por una máquina empalmadora. Las chapas se pueden unir mediante una cinta o aplicando cola a los bordes de la chapa.
9. Panel. Lámina de tablero contrachapado, fibra, partículas, etc., de cualquier tipo de construcción.
10. Pié tablar. Expresión comercial que refiere a una pieza de madera de un pié de largo, un pié de ancho y una pulgada de sección ( grueso ).
11. Plancha o placa. Tableros, paneles.
12. Tablero contrachapado. Panel formado encolando entre sí hojas de chapa o de chapa combinada con un alma de madera maciza.
13. Troza. Pieza rolliza de madera apta para la fabricación de chapas de corte rotatorio.
14. "Tuco". Expresión vulgar para denominar a la pieza rolliza de madera que queda como residuo de la troza desenrollada.

## Apéndice 3

Cuadro 1. Ecuaciones de ajuste para las ventas de paneles de la empresa.

Tipo Panel		$R^2$
4 mm "Especial"	$Y = 273,96 (2,011)^{ti}$	0,994
6 mm "Especial"	$Y = 1,30 (8,583)^{ti}$	0,798
4 mm "Corriente"	$Y = 21.206,00 (1,332)^{ti}$	0,994
6 mm "Corriente"	$Y = 481,58 (2,164)^{ti}$	0,723
9 mm "Corriente"	$Y = 1.319,45 (1,129)^{ti}$	0,120
12 mm "Corriente"	$Y = 280,03 (1,240)^{ti}$	0,749
15 mm "Corriente"	$Y = 172,81 (2,834)^{ti}$	0,644
18 mm "Corriente"	$Y = 1.406,16 (1,142)^{ti}$	0,095
4 mm "Corriente" (3x7)	$Y = 2.634,43 (1,120)^{ti}$	0,035

Apéndice 3

Cuadro 2. Tendencia de la venta de paneles observada 1967-70 y esperada 1970-75  
(unidades de paneles)

Año	Panel "Especial"					Panel "Corriente "					Total vendido (m <sup>3</sup> )
	4mm	6mm	4mm	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm	3 x 7 4mm		
1967-68*	567	6	28.609	791	1.232	502	313	1.257	2.991	564,04	
1968-69*	1.046	334	36.699	3.912	2.464	2.900	3.395	2.999	6.873	1.125,12	
1969-70*	2.293	442	50.783	3.703	1.572	2.896	2.515	1.641	2.767	1.154,38	
1970-71			58.771	8.519	2.143	6.158	7.066	2.422	4.052		
1971-72			66.090	12.161	2.294	8.959	11.195	2.620	4.101		
1972-73			72.745	16.283	2.425	12.240	16.310	2.794	4.162		
1973-74			78.882	20.847	2.532	15.590	22.410	2.949	4.225		
1974-75			84.630	25.800	2.648	19.950	29.525	3.092	4.238		

\*Fuente: Empresa estudiada



## Apéndice 4

Cubicación de trozas

El presente estudio utilizó la fórmula Smalian. La empresa estudiada usa la "Tabla para calcular madera en trozas" (T. C. R.); y la Tabla Doyle sirvió de comparador.

1. Fórmula Smalian

Está dada por la ecuación

$$V = \left[ \frac{B - b}{3} \right] \cdot L$$

expresando sus unidades en piés cúbicos ( $p^3$ )

La estimación de volúmenes de trozas mediante esta fórmula resultó de los siguientes coeficientes:

$$V = \left[ \frac{\pi D^2}{4} \right] \cdot L \quad \text{pero} \quad \begin{array}{l} \pi = 3,1416 \\ L = 8,33 \end{array} \quad (1)$$

luego reemplazando valores en (1) tenemos

$$V = \left[ \frac{3,1416}{4} \right] \cdot D^2 \times 8,33 = \pi p^3 \quad (2)$$

pero sabemos que  $1 p^3 = 12 \text{ pt}$ ; luego aplicando en (2):

$$V = \left[ \frac{3,1416}{4} \right] \cdot D^2 \times 8,33 \times \frac{1}{12} = 0,54519 D^2 = \text{mpt}$$

entonces:

$$V = 0,54519 D^2 = \text{mpt}$$

donde m es una cantidad de pt.

2. Tabla Costa Rica (T. C. R.)

Es de uso generalizado en Costa Rica para la cubicación de trozas de aserrío. Se basa en el principio de la cuadratura del círculo.

## Apéndice 4

o sea en el  $\frac{1}{4}$  de circunferencia sin deducción. Su aplicación consiste en medir el perímetro de la troza en la base más pequeña, se divide entre cuatro y se refiere a la longitud de la troza (L). Hecho ésto se busca en el cuerpo de la Tabla T. C. R. el volumen correspondiente, dado en pulg<sup>3</sup>.

La fórmula que más aproxima a los valores de cubicación presentados en esta tabla es:

$$V = \left[ \frac{C}{4} \right]^2 \cdot L \quad \text{donde:}$$

C = circunferencia menor de la troza

L = longitud de la troza

3. Tabla Doyle

Tabla muy usada en el trajín de la industria forestal.

En nuestro estudio obedece a la fórmula:

$$V = \frac{(D - 4)^2 \times L}{16} = \frac{(D - 4)^2 \times 8,33}{16} \quad \text{donde:}$$

D = diámetro menor de la troza.

\*\*\*\*\*

Cuadro 1 . Comparación de cubicación de trozas: Smalian, T. C. R. y Tabla Doyle.

Clase diámetrica (pulg)	Smalian (pt)	T. C. R.		Doyle (pt)
		(pulg <sup>3</sup> )	(pt)	
11	65,96	91	99	25,52
15	122,66	169	184	63,02
20	218,07	300	327	133,33
25	340,74	469	511	229,68
30	490,67	675	736	352,08

Cuadro 1. Disponibilidad de trozas, 1967-70.  
(compras promedio mensual y anual)

Año	Total		Caobilla		Fruta Dorada		Lechoso		Otros	
	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt
1967-68 *	2,075	588,553	203	61,827	989	209,535	690	258,019	193	59,172
1968-69	3,113	1,002,008	334	125,355	899	194,556	1,860	677,290	20	4,807
1969-70	2,889	968,259	475	166,463	390	88,008	1,882	647,300	142	66,488
Mes										
Octubre	259	86,831	31	11,931	83	19,407	145	55,493	000	000
Nov.	288	82,106	16	5,504	85	18,292	179	56,660	8	1,650
Dic.	206	63,680	17	4,886	14	2,533	173	55,640	2	621
Enero	404	134,391	2	372	70	15,939	310	106,091	22	11,989
Feb.	298	95,256	39	15,710	77	13,893	163	53,154	19	8,499
Marzo	199	57,569	15	6,709	83	15,681	66	29,021	35	6,158
Abril	274	91,568	28	9,826	101	24,447	123	47,560	22	9,735
Mayo	244	76,907	39	13,514	88	21,357	114	41,061	3	975
Junio	227	69,530	55	18,765	39	8,519	127	40,484	6	1,762
Julio	347	110,818	48	17,442	108	23,109	168	63,274	23	6,993
Agosto	251	77,442	36	11,748	69	15,133	143	49,201	3	1,360
Set.	179	60,916	43	14,272	47	9,075	86	36,239	3	1,330
Promedio Anual	3.176	1.007,014	369	130,679	864	187,385	1.797	637,878	146	51,072

\* 1967-68 : Incluye sólo los datos de los meses de abril a setiembre de 1968  
Fuente: Empresa estudiada

## Apéndice 5

Cuadro 2. Distribución anual de las compras de trozas de la empresa, 1967 - 70. (en porcentaje)

Espece	1967-68	1968-69	1969-70	Promedio Anual
Caobilla	9, 78	10, 73	16, 44	12, 32
Fruta Dorada	47, 66	28, 88	13, 50	30, 01
Lechoso	33, 25	59, 75	65, 14	52, 71
Otros	9, 31	0, 64	4, 92	4, 96

Cuadro 3. Distribución diamétrica de las trozas compradas por la empresa. (en porcentaje)

Espece	Clase Diamétrica (pulg.)					Total
	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	
Caobilla	1, 16	5, 30	3, 99	1, 50	0, 37	12, 32
Fruta Dorada	11, 58	15, 19	2, 94	0, 30	0, 00	30, 01
Lechoso	5, 35	21, 85	16, 35	6, 62	2, 54	52, 71
Otros	1, 17	2, 53	0, 82	0, 32	0, 12	4, 96
Total	19, 26	44, 87	24, 10	8, 74	3, 03	100, 00

## Apéndice 6

Cuadro 1 . Ecuaciones para el ajuste de la tendencia de disponibilidad de trozas ó piés tablares de la empresa.

<u>Trozas</u>				<u>R<sup>2</sup></u>
Caobilla	Y =	201,13	X 0,767833	0,997
Fruta Dorada	Y =	1.113,18	X -0,770634	0,699
Lechoso	Y =	752,15	X 0,969037	0,874
Otros	Y =	117,28	X -0,601418	0,079
<u>Piés Tablares</u>				
Caobilla	Y =	63.057,50	X 0,914257	0,992
Fruta Dorada	Y =	234.005,20	X -0,716094	0,684
Lechoso	Y =	283.038,89	X 0,896991	0,837
Otros	Y =	31.781,61	X -0,295310	0,012

Apéndice 6

Cuadro 2 . Disponibilidad esperada de insumos físicos para 1971-75  
(trozas y piés tablares)

Año	Total		Caobilla		Fruta Dorada		Lechoso		Otras	
	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt	Trozas No.	mil pt
1970-71	3.640	1.258,591	583	223,945	153	34,800	2.883	991,404	21	8.442
1971-72	4.453	1,520,038	692	274,637	161	37,078	3.578	1198,944	22	9,379
1972-73	5.256	1.786,724	796	324,458	167	39,048	4.269	1411,986	24	11,232
1973-74	6.043	2.048,614	896	373,559	174	40,794	4.947	1621,739	26	12,522
1974-75	6.841	2.306,576	992	422,916	180	42,230	5.642	1827,676	27	13,754

## Apéndice 7

Cuadro 1. Ecuaciones de ajuste de la conversión chapa/troza-diámetro (por especie, grado y grosor)

Especie	Grado	Grosor	Y =	$(D_j^2 - d^2) *$	$R^2 **$
F. Dorada	Total	1, 5mm	$Y = 14,01224 + 989,83503$	$(D_j^2 - d^2) *$	0, 858
	Cara	1, 5mm	$Y = 0,75382 + 741,12178$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 491
	Centro corto	1, 5mm	$Y = 2,28088 + 151,62825$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 245
	Centro largo	1, 5mm	$Y = 10,82052 + 97,63283$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 072
Lechoso	Centro corto	3, 0mm	$Y = -32,64974 + 726,15435$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 975
	Total	1, 5mm	$Y = 62,24805 + 650,35279$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 534
	Cara	1, 5mm	$Y = -81,76167 + 831,06759$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 420
	Centro corto	1, 5mm	$Y = 63,77442 - 58,21861$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 164
	Centro largo	1, 5mm	$Y = 80,23542 - 122,4967$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 161
	Centro corto	3, 0mm	$Y = -32,64974 + 726,15435$	$(D_j^2 - d^2)$	0, 975

\*\*  $R^2$  = Coeficiente determinístico debido a regresión

\* d = 22 cm

Cuadro 2. Producción estimada de chapas, para cada especie y clase diamétrica.

Clase Diamétrica cm. pulg.	CAOBILLA						FRUTA DORADA						LECHOSO					
	Cara 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro corto 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro largo 1.5mm p <sup>2</sup>	Cara 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro corto 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro largo 1.5mm p <sup>2</sup>	Cara 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro corto 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro largo 1.5mm p <sup>2</sup>	Cara 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro corto 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro largo 1.5mm p <sup>2</sup>	Cara 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro corto 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro largo 1.5mm p <sup>2</sup>	Cara 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro corto 1.5mm p <sup>2</sup>	Centro largo 1.5mm p <sup>2</sup>
40 15	453.84	61.33	36.79	898.25	206.66	233.68	118.18	616.56	716.45	408.73								
50 20	806.86	109.03	65.42	1,616.32	353.48	328.30	944.86	560.15	597.83	960.81								
60 23	1,067.08	144.20	86.52	2,493.80	533.03	445.84	1,907.38	491.16	452.84	1,635.45								
70 27	1,470.52	198.72	119.23	3,530.80	745.19	580.50	3,070.21	409.78	281.37	2,432.83								
75 29	1,696.45	229.25	137.55	4,109.26	863.59	656.71	3,718.85	364.25	185.78	2,877.55								
80 31	1,938.50	261.96	157.17	4,727.44	990.07	738.08	4,412.05	315.70	83.63	3,352.93								
85 33	2,196.72	296.85	178.11	5,385.65	1,124.73	825.92	5,150.14	264.04	--	3,774.52								
90 35	2,471.04	333.92	200.35	6,083.59	1,267.24	916.76	5,932.90	209.25	--	4,395.34								

\* Según cubicación "Smalian"



## Apéndice 8

A. Determinación de un coeficiente de conversión chapa/troza.Especie estudiada: Iechoso (Brosimum sp)Datos:

Clase Diamétrica (cm)	* Chapa 1.5 mm cara (p <sup>2</sup> )	Cubicación Smalian (pt)
40	118, 18	135, 33
45	390, 73	171, 28
50	944, 86	211, 46
55	1.392, 97	255, 86
60	1.907, 38	304, 50
65	2.670, 98	357, 36
70	3.070, 21	414, 46
75	3.718, 85	475, 78
80	4.412, 05	541, 33
85	5.150, 14	611, 12
90	5.932, 90	685, 13
	<hr/>	<hr/>
	29.709, 25 (1)	4.163, 61 (2)

pero el coeficiente de conversión chapa/troza esta dado por la relación:

$$p^2 / pt \quad (3)$$

entonces reemplazando los valores de (1) y (2) en (3) tenemos:

$$\frac{29.709,25}{4.163,61} = 7,1355 p^2/pt \quad (4)$$

pero el coeficiente de conversión que nos interesa es cantidad de chapa por 1.000 pt desenrollados, luego si multiplicamos (4) por el factor 1000/1000 obtendremos:

$$\frac{7,1355 \times 1.000}{1.000} p^2 = 7.1355 p^2/1000 pt = 7.136 p^2/1000 pt$$

---

\* Cuadro 2, del Apéndice 7

## Apéndice 8

B. Determinación de un coeficiente combinado de conversión chapa/trozaDatos:

Especie	pt	Coeficiente chapa/troza (Cara)	Cantidad Chapa $p^2$
Caobilla	166. 463	3, 700	615. 913, 1
Fruta Dorada	154. 496	8, 299	1. 282, 162, 1
Lechoso	<u>647. 300</u>	7, 136	<u>4. 619. 132, 3</u>
	968. 259 (1)		6. 517. 206, 2 (2)

Pero el coeficiente de conversión chapa/troza esta dado por la relación:

$$p^2 / pt \quad (3)$$

reemplazando los valores (1) y (2) en (3) tendremos

$$\frac{6. 517. 206, 2}{968, 259} = 6, 730$$

ó lo que es lo mismo:

$$6. 730 p^2/1000 pt$$

el cual es el coeficiente combinado de conversión chapa (cara) /troza.

C. Los coeficientes combinados de conversión chapa/troza utilizados en el Diseño Matriz de programación lineal, para los Criterios 2 y Criterio 4, fueron:

Cara o espalda	(1, 5mm)	6. 730	$p^2/1000 pt$
Centro corto	(1, 5mm)	1. 138	$p^2/1000 pt$
Centro largo	(1, 5mm)	898	$p^2/1000 pt$
Centro corto	(3, 0mm)	3. 551	$p^2/1000 pt$
Centro largo	(3, 0mm)	1. 859	$p^2/1000 pt$

## Apéndice 9

Determinación del tiempo promedio de mantenimiento por operación

En cualquiera de las operaciones estudiadas se midió los conceptos siguientes:

- i) Tiempo de encendido y calentamiento.
- ii) Tiempo de carga de material.
- iii) Tiempo de servicio y mantenimiento.
- iv) Tiempo de café.
- v) Tiempos varios (tiempo de ajustes adicionales de maquinaria de reducida duración que sumados se consideran como varios).

Operación torno

	Minutos/día
Tiempo encendido y calentamiento	24
Tiempo, servicio y mantenimiento	62
Tiempo de carga material *	39
Tiempo café	<u>30</u>
Tiempo total/día	155

ó lo que es lo mismo 2 h, 35'

---

\* Se observó que el torno desenrolla 13 trozas promedio/día, demorando la carga de cada una de ellas 3 minutos promedio/troza.

## Apéndice 10

A. Determinación del tiempo de desenrollo para conseguir 1000 p<sup>2</sup> de chapa

Se aplicó al modelo de ajuste:

$$Y = 8041,063 - 233,5703 D_j - 1,01432 CH_j + 1,620152 D_j^2 + 0,204 CH_j D_j$$

reemplazando en esta fórmula los valores  $D_j$ ,  $CH_j$  se obtuvo:

$D_j$	$CH_j$ 1,5mm (p <sup>2</sup> )	Tiempo (seg.)	$CH_j$ 3,0mm (p <sup>2</sup> )	Tiempo (seg.)	
45	1.792,680	264	842,411	124	
50	2.298,816	338	1.224,435	180	
55	2.858,127	420	1.634,768	240	
60	3.470,828	510	2.084,176	306	
65	<u>4,136,706</u>	<u>608</u>	<u>2.572,766</u>	<u>378</u>	
	14,557,157	2.140	8.358,556	1.228	(1)

a partir de (1) determinamos el tiempo de desenrollo para 1000 p<sup>2</sup> / chapa de 1,5mm razonando por una simple regla de tres:

$$14,557,157 \frac{2.140}{1.000} = \frac{2.140 \times 1.000}{14,557,157} = 147 \quad (2)$$

Determinamos el tiempo de desenrollo para 1000 p<sup>2</sup> / chapa de 3,0 mm por el mismo procedimiento:

$$8.358,556 \frac{1.228}{1.000} = \frac{1.228 \times 1.000}{8.358,556} = 146,9 = 147 \quad (3)$$

De donde deducimos de (2) y (3) que el tiempo necesario para desenrollar 1.000 p<sup>2</sup> de chapa en cualquier grosor se requieren 147 segundos o lo que es lo mismo 2' 27" ó 2,45 minutos.

## Apéndice 10

B. Determinación del tiempo de desenrollo para 1000 pt

Especie: lechoso (Brosimum sp.)

Sabemos que lechoso tiene un coeficiente de conversión total de:

$$9.211 \text{ p}^2/1000 \text{ pt}$$

y que el tiempo para conseguir 1.000 p<sup>2</sup> de chapa es:

$$2,45 \text{ minutos}$$

luego haciendo una regla de tres simple tendremos:

$$\begin{array}{r} 1.000 \quad \text{-----} \quad 2,45 \\ 9.211 \quad \text{-----} \quad \times \end{array} = \frac{2,45 \times 9.211}{1.000} = 22,57$$

luego, el coeficiente de tiempo de conversión de 1.000 pt de lechoso en chapa de 1,5mm será de 22,57 minutos.

## Apéndice 11

A. Determinación del coeficiente de tiempo de secado para 1000 p<sup>2</sup>/chapa-especie.Especie estudiada: lechoso (Brosimum sp)

Datos:

<u>Chapa</u>	<u>Area de Secado</u> (p <sup>2</sup> ocupados)	<u>"Carrera de secado"</u> (minutos)
1, 5 mm	1. 849, 94	22, 38

se relaciona el área de secado ocupada con el tiempo de "carrera de secado" gastado y se razona con una regla de tres simple:

$$\begin{array}{r} 1. 849, 94 \text{ —————} \\ 1. 000, 00 \text{ —————} \end{array} \begin{array}{r} 22, 38 \\ x \end{array} = \frac{22, 38 \times 1. 000}{1. 849, 94} = 12, 1$$

donde el coeficiente tiempo de secado para 1.000 p<sup>2</sup> de chapa de lechoso es 12, 1 minutos.

B. Determinación del coeficiente combinado de tiempo de secado para 1000 p<sup>2</sup>/chapa.

Datos:

<u>Especie</u>	<u>mil p<sup>2</sup></u>	<u>mil p<sup>2</sup> chapa 1, 5</u> (cara-centro-largo)	<u>Coeficiente</u> (secado/1000p <sup>2</sup> )	<u>Total</u> (1000 min)
Caobilla	166, 852	665, 852	12, 15	8. 090, 1
Fruta dorada	154, 496	1. 505, 100	19, 00	28. 596, 9
Lechoso	647, 300	<u>5. 216, 590</u>	12, 15	<u>63. 381, 5</u>
		7, 387, 542 (1)		100. 068, 5 (2)

## Apéndice 11

pero el coeficiente de secado para 1000 p<sup>2</sup> de chapa esta dado por la relación minutos/1000 p<sup>2</sup>, entonces dividiendo (2) entre (1) tendremos:

$$\frac{100.068,5}{7.387,5} = 13,54 \text{ minutos/1000 p}^2$$

- C. Los coeficientes combinados de tiempo de secado para 1000 p<sup>2</sup> de chapa utilizados en el Diseño Matriz de programación lineal para los Criterios 2 y Criterio 4 son:

Cara	1,5mm	13,54	minutos/1000 p <sup>2</sup>
Centro corto	1,5mm	26,07	minutos/1000 p <sup>2</sup>
Centro largo	1,5mm	13,54	minutos/1000 p <sup>2</sup>
Centro corto	3,0mm	77,37	minutos/1000 p <sup>2</sup>
Centro largo	3,0mm	42,68	minutos/1000 p <sup>2</sup>

## Apéndice 12

Determinación del coeficiente de tiempo de prensado para  
1000 p<sup>2</sup>/tipo-panel

Sea un panel estándar de 4mm que requiere 0,83 minutos para ser prensado.

Pero sabemos que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ panel estándar} &= 32 p^2 \\ 1000 p^2/\text{panel} &= 32 \text{ paneles} \end{aligned} \quad \text{y que:}$$

luego razonando con una simple regla de tres obtendremos:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ ————— } 0,83 \\ 32 \text{ ————— } \times \end{array} = \frac{0,83 \times 32}{1} = 26,56$$

luego el coeficiente de tiempo de prensado para 1000 p<sup>2</sup> de panel estándar de 4 mm es:

26,56 minutos



## Apéndice 13

Programación de las actividades óptimas, para la empresa.1. Programación del Criterio 2.

Sean los productos óptimos:

<u>Tipo</u>	<u>Cantidad (mil p<sup>2</sup>)</u>
"Especial" 4 mm	1760, 67678
"Especial" 6 mm	161, 18459
"Corriente" 15 mm	295, 92447

que obedecen a un arreglo de chapas igual a:

	<u>Cara espalda (1, 5mm)</u>	<u>Centro corto (1, 5mm)</u>	<u>Centro largo (1, 5mm)</u>	<u>Centro corto (3, 0mm)</u>	
4 mm	2	1	-	-	
6 mm	2	-	-	1	
15 mm	2	-	2	3	(1)

significa que la empresa debe programar su actividad para producir chapas de:

<u>Cara o espalda 1, 5mm (mil p<sup>2</sup>)</u>	<u>Centro corto 1, 5mm (mil p<sup>2</sup>)</u>	<u>Centro largo 1, 5mm (mil p<sup>2</sup>)</u>	<u>Centro corto 3, 0mm (mil p<sup>2</sup>)</u>	
3. 521, 35356	1. 760, 67678	-	-	
322, 36918	-	-	161, 18459	
591, 84894	-	591, 84894	887, 77341	(2)
<b>Tot. 4. 435, 57168</b>	<b>1. 760, 67678</b>	<b>591, 84894</b>	<b>1. 048, 95800</b>	

i) Programación de la actividad de conversión chapa/troza

(2) explica la cantidad de chapa que debe producir la empresa lo cual implica desenrollar trozas cumpliendo el programa siguiente:

Recursos/trozas (mil pt)	Cara espalda 1, 5mm (mil p <sup>2</sup> )	Centro corto 1, 5mm (mil p <sup>2</sup> )	Centro largo 1, 5mm (mil p <sup>2</sup> )	Centro corto 3, 0mm (mil p <sup>2</sup> )	
659, 07455	4. 435, 57169	750, 02684	591, 84894	-	
115, 29203	-	1. 010, 64994	-	-	
193, 89242	-		-	1. 048, 958	
<b>Total</b>	<b>968, 25900</b>	<b>4. 435, 57169</b>	<b>1. 760, 67678</b>	<b>591, 84894</b>	<b>1. 048, 958</b>
Reque- rimien- tos	968, 25900	4. 435, 57168	1. 760, 67678	591, 84894	1. 048, 958
Inven- tarios	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0

ii) Programación de la actividad de operación de la maquinaria

Corresponde a la distribución de los tiempos disponibles de cada operación.

## a) Torno

	Minutos (mil)	Trozas (mil pt.)	Producción	
			Chapa 1, 5 (mil p <sup>2</sup> )	Chapa 3, 0 (mil p <sup>2</sup> )
Disponibile	103, 98700	968, 25900		
Requerimientos	16, 62555 <u>2, 56907</u>	774, 36658 <u>193, 89242</u>	6. 788, 09740	1. 048, 958
	19, 19472	968, 25900		
Sub ocupado	84, 79228	0, 0		

b) Secador

	Minutos (mil)	Chapa para secar ( mil p <sup>2</sup> )		
		Cara o espalda Centro largo 1, 5mm	Centro corto 1, 5mm	Centro corto 3, 0mm
Disponible	195, 13000	5.027, 42062	1.760, 6767	1.048, 958
Requerimien- tos	68, 07128 45, 90084 <u>81, 15788</u> 195, 13000	5.027, 42062	1.760, 6767	1.048, 958
Sub ocupado	0, 0			

c) Prensa

	Minutos (mil)	Producción de paneles (mil p <sup>2</sup> )		
		4 mm	6 mm	15 mm
Disponible	140, 79000			
Requerimien- tos	46, 76358 8, 25265 <u>32, 00719</u> 87, 02342	1760, 6768	161, 1846	295, 9245
Sub ocupado	53, 66658			

2. Programación del Criterio 4

Sean los productos óptimos

Tipo	Cantidad (mil p <sup>2</sup> )
"Especial" 4 mm	<u>3.323, 33294</u>
"Corriente" 15 mm	24, 68192

que obedecen a un arreglo de chapas igual a:

	Cara espalda 1, 5mm	Centro corto 1, 5mm	Centro largo 1, 5mm	Centro corto 3, 0mm	
4 mm	2	1	-	-	
15 mm	2	-	2	3	(1)

significa que la empresa debe programar su actividad para producir chapas de:

	Cara espalda 1, 5mm (mil pt)	Centro corto 1, 5mm (mil pt)	Centro largo 1, 5mm (mil pt)	Centro corto 3, 0mm (mil pt)	
6.646, 66588	323.33294		74.04576		
49, 36384	--	49.36384	--		(2)
Total 6.696, 02972	323.33294	49.36384	74.04576		

i) Programación de la actividad de conversión chapa/troza

(2) explica la cantidad de chapa que debe producir la empresa lo cual implica que debe desenrollar trozas cumpliendo el programa siguiente;

Recursos/trozas (mil pt)	Cara espalda 1,5mm (mil p <sup>2</sup> )	Centro corto 1,5mm (mil p <sup>2</sup> )	Centro largo 1,5mm (mil p <sup>2</sup> )	Centro corto 3,0mm (mil p <sup>2</sup> )
994,95241	6.696,02972	1.132,25584	893,46726	--
249,95176	--	2.191,07713	--	--
13,68683	--	--	--	74,04576
<b>Total 1.258,59100</b>	<b>6.696,02972</b>	<b>3.323,33297</b>	<b>893,46726</b>	<b>74,04576</b>
Reque- rimien- tos 1.258,59100	6.696,02972	3.323,33297	49,36384	74,04576
Inven- tario 0,0	0,0	0,0	844,10342	0,0

ii) Programación de la actividad de operación de la maquinaria

Corresponde a la distribución de los tiempos disponibles de cada operación:

a) Torno

	Minutos (mil)	Trozas (mil pt)	Producción	
			Chapa 1,5 (mil p <sup>2</sup> )	Chapa 3,0 (mil p <sup>2</sup> )
Disponibile	103,98700	1.258,59100		
Requeri- mientos	26,72809 18135	1.244,90417 13,68683	10.912,82995	74,04576
Sub ocupado	77,07746	0,0		

b) Secador

	Minutos (mil)	Chapa para secar ( mil p <sup>2</sup> )		
		Centro largo cara, espalda 1,5 mm	Centro corto 1,5mm	Centro largo 3,0mm
Disponible	195,130000	7.589,48698	3.323,33297	74,04576
Requeri- mientos	102,761789 86,639291 <u>5,728920</u>	7.589,48698	3.323,33297	74,04576
	195,130000			
Sub ocupado	0,0			

c) Prensa

	Minutos (mil )	Producción de paneles (mil p <sup>2</sup> )	
		4 mm	15 mm
Disponible	140,79000		
Requeri- mientos	88,26772 <u>2,66959</u>	3.323,33294	24,68192
	90,93731		
Sub ocupado	49,85269		

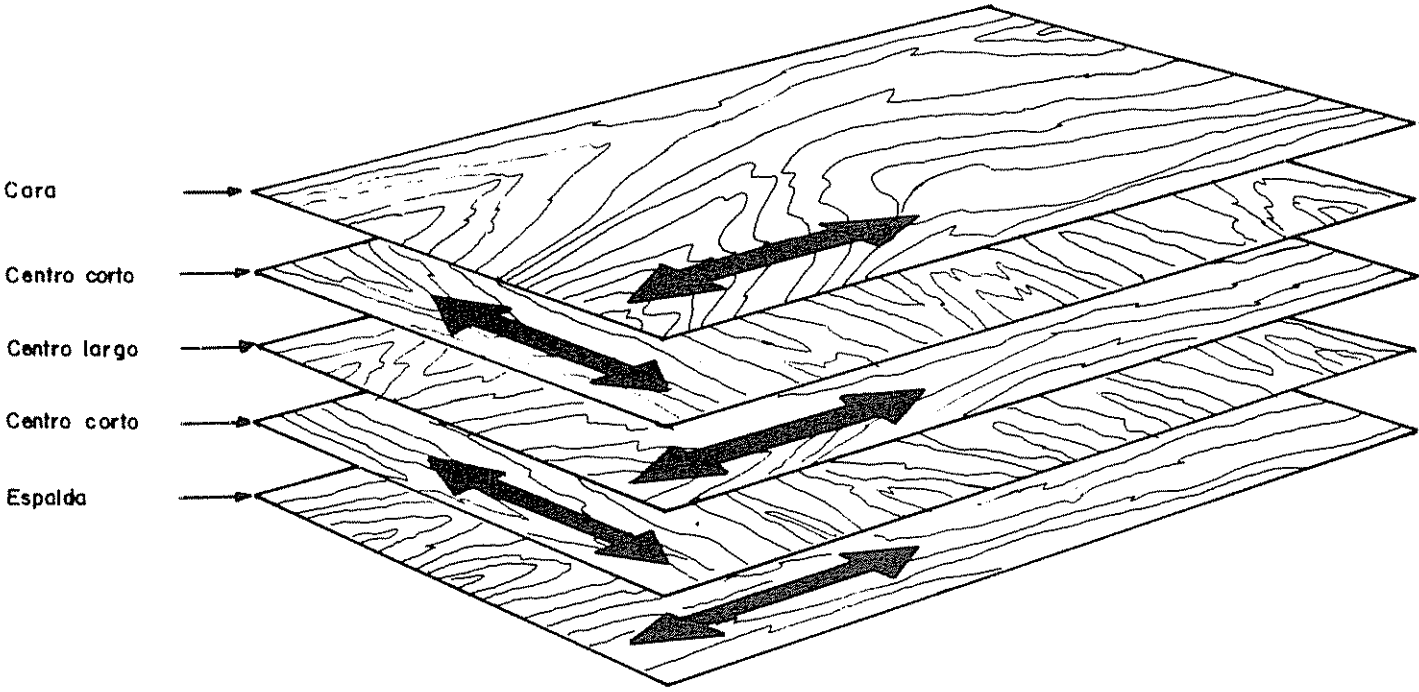
Apéndice 14

Precios pagados por pié tablar de troza, 1969-70

Especie	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Marz.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago	Set.
Caobilla	, 32	, 34	, 34	, 32	, 33	, --	, 35	, 34	, 37	, 37	, 37	, 37
Fruta Dorada	, 30	, 30	, 28	, 29	, 28	, 28	, 29	, 30	, 34	, 34	, 35	, 36
Lechoso	, 28	, 29	, 29	, 28	, 28	, 28	, 29	, 30	, 29	, 30	, 33	, 34
Otras	, --	, --	, 27	, 28	, 28	, 28	, 30	, 28	, --	, 28	, 28	, 28

Fuente: Empresa estudiada

# Apéndice 15



Infraestructura básica de un panel

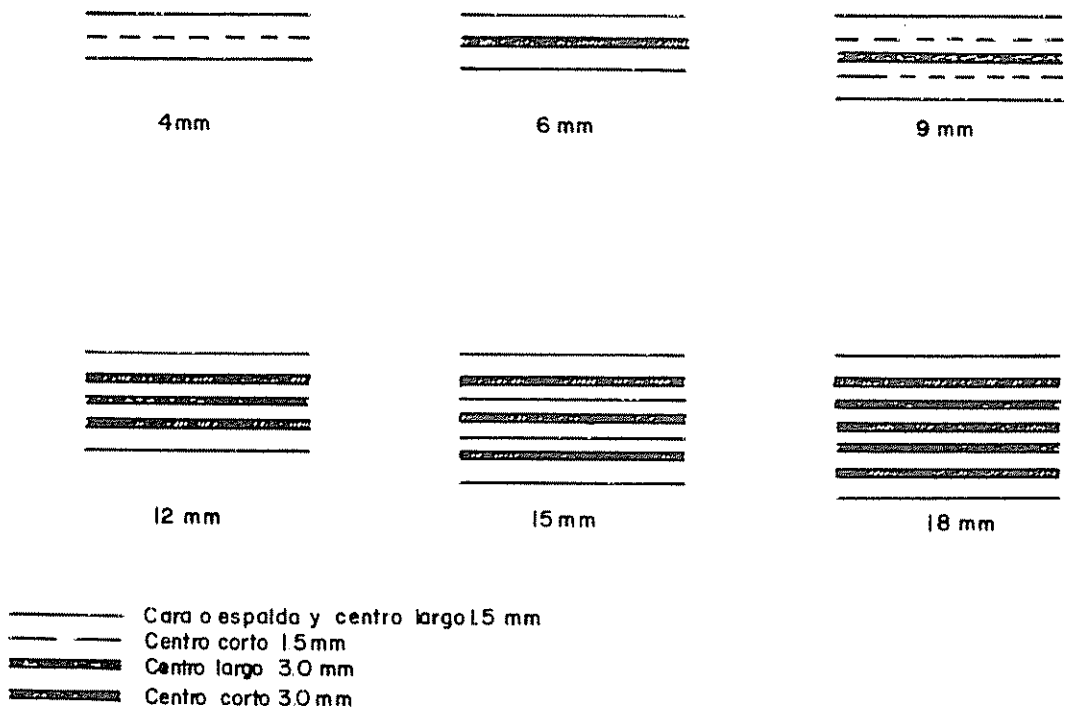


Fig. 1 Construcción de paneles : arreglo de chopas





Apéndice 16

Fecha.....		TARJETA DE CONTROL				Nº 3		
Hora de entrada.....		SECADOR						
" salida.....								
C H A P A S				TIEMPO DE OPERACION (minutos)				
ESPECIE	Grosor mm	Grado	Cantidad. p <sup>2</sup>	Manteni- miento	Carga	Secado	Desocupa- do	TOTAL
TOTAL								

Fecha.....		TARJETA DE CONTROL				Nº 4	
Hora de entrada.....		P R E N S A					
" salida.....							
P A N E L E S			TIEMPO DE OPERACION minutos				
Grosor mm	Tamaño	Cantidad unidades	Manteni- miento	Carga	Prensado	Desocu- pado	TOTAL
TOTAL							