



**Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MAESTRÍA DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS**

**Tesis para optar por el Título Académico de**

**Máster en Producción Más Limpia.**

**Título**

**Aplicación de la modelación matemática a la Producción Más Limpia en el  
proceso de corte de la Empresa Gráfica Cienfuegos.**

**Autora:** Lic Hector Lazaro Funes Piñeiro.

**Tutores:** Dr. C Manuel Cortes Cortes.

**Cienfuegos 2013**

*PENSAMIENTO*

*¿Cómo puede ser que las matemáticas, que son después de todo un producto del pensamiento humano independiente de la experiencia, se adapten tan admirablemente a los objetos de la realidad?*

*Albert Einstein.*

*DEDICATORIA*

*A mis padres con todo mi amor,  
Y muy especialmente a Jean Paul por su apoyo incondicional.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A mi buen amigo Dr. Eduardo López Bastida, por su  
orientación, ayuda y consagración.*

*A mis tutores Dr. Manuel E. Cortés Cortés y MSc. Rubén  
de León Rodríguez, sin la cual la realización  
de este trabajo no hubiese sido posible.*

*A todos los profesores que han contribuido a mi formación  
profesional.*

*A los compañeros de la Empresa Gráfica, por el tiempo y la  
ayuda que tan amablemente me brindaron.*

*A mis padres, a Jean Paul y a todas esas personas especiales,  
que han estado a mi lado, dándome apoyo y comprensión.*

*A todos quisiera decirles que es difícil con palabras hacer  
comprender la importancia y extensión de su verdadera ayuda.*

*Muchas gracias.*

*RESUMEN*

---

## **Resumen**

El presente trabajo titulado “Aplicación de la modelación matemática a la producción más limpia en el proceso de corte en la Empresa Gráfica Cienfuegos”, tiene como objetivo general aplicar la producción más limpia en los procesos de corte de materiales con el apoyo de la modelación matemática.

Se realiza un análisis del proceso de corte en función de la producción más limpia con vistas a optimizar el uso de las materias primas para reducir los niveles de desperdicios, de esta forma disminuyen las emisiones de polvillo a la atmosfera, el gasto de energía eléctrica, aumentando el control sobre los recursos y humanizando el trabajo.

Se caracteriza el software utilizado para procesar los modelos, se presentan antecedentes del corte de materiales en lo que respecta a la utilización de métodos matemáticos, haciendo referencia al corte bidimensional de materiales para modelar matemáticamente la situación en estudio.

Por último, después de procesar los modelos se interpretan los resultados obtenidos valorando económicamente la utilización de los mismos y su comparación con la forma tradicional de realizar este trabajo en la empresa, además se realiza una propuesta de estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo.

Como resultado fundamental del trabajo se tiene que la producción más limpia con la utilización de métodos matemáticos asociados a las técnicas de computación, constituye una vía necesaria para el perfeccionamiento de los procesos de corte de cartulina en la empresa.

*SUMMARY*

---

## Summary

The present work titled "Application of the mathematical modelation to the cleanest production in the cutting process in the Graphic Company Cienfuegos", has as general objective to apply the cleanest production in the processes of cutting of materials with the support of the mathematical modelation.

An analysis was carried out of the cutting process in function of the cleanest production with a view to optimizing the use of the matters cousins to reduce the levels of wastes, this way they diminish the dust emissions to the atmosphere, the electric power expense, increasing the control on the resources and humanizing the work.

The used software is characterized the process at models, they show up antecedents of the cut of materials in what concerns to the use of mathematical methods, making reference to the two-dimensional cut of materials to model the situation mathematically in study.

Lastly, after processing the models the obtained results they are interpreted valuing the use of the same ones and their comparison economically with the traditional form of carrying out this work in the company, it is also carried out a strategy proposal for the application and continuity of this work.

As a result fundamental of the work one has that the cleanest production with the use of mathematical methods associated to the computation techniques, constitutes a necessary road for the improvement of the processes of bristol board cut in the company.

*ÍNDICE*

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Introducción.....	2
Capítulo 1: Revisión bibliográfica.....	10
1.1    Producción más limpia.....	11
1.1.1    Concepto e importancia de la producción más limpia.....	12
1.1.2    Producción más limpia en la Industria Gráfica.....	14
1.2    La modelación matemática como herramienta de producción más limpia.....	18
1.2.1    Concepto y uso de la modelación económico-matemática.....	19
1.2.2    Caracterización del paquete de programa profesional computacional WinQSB.....	23
1.2.3    Aplicación de la modelación matemática para la optimización del corte en función de la producción más limpia.....	25
<b>Conclusiones del capítulo</b> <b>1.....</b>	28
Capítulo 2: Metodología para la optimización del corte de cartulina en la <b>Empresa Gráfica</b> <b>Cienfuegos.....</b>	p
2.1    Descripción de la Empresa Gráfica Cienfuegos.....	r
2.1.1    Misión y visión de la empresa.....	o
2.1.2    Situación económica de la empresa al cierre del año 2013.....	d
2.1.3    Estructura organizativa de la empresa.....	u
2.1.4    Sistema de gestión empresarial.....	c
2.2    Evaluación de la situación actual del corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos.....	t
2.2.1    Análisis del proceso	i
	v
	o
	...

.....	29
.....	29
2.3 Descripción del modelo general propuesto para optimizar el corte de materiales.....	30
	32
	33
	34
	35
	37
	40

---

2.3.1	Método matemático aplicado a la producción más limpia.....	58
<b>Conclusiones del capítulo</b>		
2.....		60
Capítulo 3: Análisis de los		
resultados.....		62
3.1	Resultados obtenidos en la interpretación de los modelos.....	62
3.2	Valoración económica de la utilización de los modelos y su comparación con la forma tradicional de realizar este trabajo en la empresa.....	77
	.....	84
3.2.1	Propuesta de estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo.....	
	....	
<b>Conclusiones del capítulo</b>		
3.....		84
<b>Conclusiones.....</b>		
.....		
<b>86</b>		
<b>Recomendaciones.....</b>		
.....		
<b>88</b>		
<b>Bibliografía.....</b>		
.....		
<b>89</b>		
Anexos		

## *INTRODUCCIÓN*

---

## **Introducción**

En Cuba desde 1998 el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente ha venido realizando esfuerzos para promover, introducir e implementar estrategias de producción acordes con las normas internacionales en los sectores prioritarios de la economía, enfocando sus productos a la eco-eficiencia y el desarrollo sostenible.

Nuestro país viene propugnando a través de distintas leyes, decretos leyes y normas la protección del medio ambiente como parte integrante de sus actividades políticas, a fin de conseguir un desarrollo equilibrado y sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental.

Como se plasma en los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución discutido y aprobado en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, el cual plantea en su lineamiento 08..... El incremento de facultades a las empresas ira asociado a la elevación de la responsabilidad sobre el control de los recursos materiales y financieros que manejan, (lineamiento 08) (PCC 2011) y en el lineamiento 15 continua diciendo que..... La elevación de la responsabilidad y facultad de las empresas hace imprescindible fortalecer su sistema de control interno, para lograr los resultados esperados en cuanto al cumplimiento de sus planes y metas con eficiencia, orden, disciplina y el acatamiento absoluto de la legalidad, (lineamiento 15) (PCC 2011). Con respecto a la política de ciencia, tecnología e innovación, en su Capítulo V plantea, lineamiento 124... Sostener y desarrollar, así mismo, las investigaciones sobre la adaptación y mitigación al cambio climático, la conservación y el uso racional de los recursos naturales, en particular, de los suelos, el agua y los bosques; y las de las ciencias sociales, igualmente necesarias para estos propios fines (lineamiento 124) (PCC 2011).

La importancia de una apropiada gestión ambiental dentro de la industria gráfica se ratifica por la necesidad de controlar las emisiones atmosféricas, asociadas al manejo de solventes y tintas, de manejar residuos líquidos industriales

provenientes de procesos de revelado y el problema de residuos sólidos que va desde una importante presencia de elementos reciclables, como el papel y la cartulina, hasta la existencia de residuo peligrosos, tantos por características de toxicidad, inflamabilidad y reactividad. Dentro de ellos tenemos:

1. Papel y cartón: Que son el principal residuo de esta industria, ya que constituyen su materia prima fundamental. Proceden de restos de corte, pruebas de impresión, material impreso defectuoso, etc.
2. Residuos peligrosos: Estos residuos necesitan una gestión especial. Se trata principalmente de restos de tintas de las industrias de impresión y artes gráficas, líquidos de revelado, envases vacíos que contenían residuos peligrosos, aceites usados, disolventes de las actividades de impresión, etc.
3. Plásticos: Se generan en una cuantía considerable; sobre todo, por restos de embalajes.
4. Otros residuos urbanos: Son los residuos que se derivan de la propia actividad de los trabajadores. En la mayoría de los casos no precisan una gestión especial, aunque en ocasiones requieren un tratamiento específico. Entre ellos están restos de vidrio, comida, maderas de parles, etc.
5. Emisiones atmosféricas y vertidos: Ruidos, humos, vibraciones de las máquinas, aguas mezcladas con tintas de impresión, disolventes u otros productos químicos que generan compuestos orgánicos volátiles, etc.

Paralelo al proceso de producción más limpia existen diversos instrumentos, de los cuales algunos son, la minimización de residuos; prevención de la contaminación; eco eficiencia; ecología ambiental; factor 4; contaminación 0; metabolismo industrial; análisis del ciclo de vida; (Kingham, 2000; Hoyt, 2000; Castillo, 2004; Ochoa, 2007).

Una adecuada gestión ambiental con la aplicación de algunas de estas herramientas es clave para la disminución de costos, muchos de los impactos de la industria gráfica tienen como causa el uso exagerado de insumos o su manejo irresponsable. Según criterios del experto alemán Wagner... La necesidad

creciente de una gestión ambiental, no tiene por qué significar un aumento en los costos de producción de las empresas, al contrario, unida al proceso de aseguramiento de la calidad con el compromiso decidido de las empresas, es una forma de hacerlas más rentables (Wagner, 2007).

En las condiciones actuales, es mucho lo que la industria gráfica puede hacer, por ejemplo, la reducción de químicos en los procesos de producción o su sustitución por productos biodegradables o el uso de papeles provenientes de cultivos locales sostenibles con certificados ambientales. La recomendación no es limitarse a acciones aisladas en ciertos puntos del proceso productivo, la idea es implementar una política consistente de gestión ambiental, para ello el primer paso es la implementación de la NC ISO 9001:2008 de la gestión de la calidad, que permitirá fácilmente incorporar las normas internacionales de gestión ambiental de la NC ISO 14001:2004.

La programación matemática es una potente técnica de modelado usada en el proceso de toma de decisiones. Cuando se trata de resolver un problema de este tipo, la primera etapa consiste en identificar las posibles decisiones que pueden tomarse; esto lleva a identificar las variables del problema concreto. Normalmente, las variables son de carácter cuantitativo y se buscan los valores que optimizan el objetivo. La segunda etapa supone determinar qué decisiones resultan admisibles; esto conduce a un conjunto de restricciones que se determinan teniendo presente la naturaleza del problema en cuestión. En la tercera etapa, se calcula el coste/beneficio asociado a cada decisión admisible; esto supone determinar una función objetivo que asigna, a cada conjunto posible de valores para las variables que determinan una decisión, un valor de coste/beneficio. El conjunto de todos estos elementos define el problema de optimización.

La programación lineal, que trata exclusivamente con funciones objetivos y restricciones lineales, es una parte de la programación matemática, y una de las áreas más importantes de la matemática aplicada. Se utiliza en campos como la

ingeniería, la economía, la gestión, y muchas otras áreas de la ciencia, la técnica y la industria (Castillo y otros, 2002).

Se pueden citar algunos ejemplos de problemas resueltos en los campos antes mencionados: el problema del transporte, de la planificación de producción, el problema de la dieta, de flujo de una red, el problema de cartera de valores, el problema de vigas y cuerdas, el problema de despacho económico, el problema de la mochila y otros (Cortés, 2011).

Otra de las aplicaciones de la modelación matemática que resuelve la programación lineal es precisamente el corte de materiales minimizando sus residuos, que lo trataremos específicamente. En los procesos de corte de materiales, la producción más limpia está dirigida fundamentalmente a minimizar la generación de residuos, emisiones, disminuir el consumo de materias primas y energía para contribuir así a la elevación del desempeño ambiental y económico de la organización.

Para ello las mejores alternativas que se pueden aplicar son las modificaciones del proceso, que incluyen cambios en el método tradicional de realizar el corte por otro fundamentado matemáticamente.

Estos métodos que se utilizan habitualmente para resolver este problema están basados en técnicas de programación lineal o técnicas de programación dinámica. Dichos métodos no resultan apropiados debido al gran número de combinaciones que generan. En el artículo de (Carrascosa y otros, 1997), se proponen el uso de técnicas heurísticas que logran una solución eficiente, garantizando la obtención de la solución óptima, es decir, minimizando la merma.

Para la obtención de la solución se utiliza una variación de una técnica clásica dentro del campo de la Inteligencia Artificial: los algoritmos IDA\*. Con el fin de incrementar el rendimiento global de la aplicación, se incluyen dos mejoras. La primera es una poda que reduce el espacio de estados a través del estudio detallado de las restricciones del proceso. La segunda mejora es una

aproximación *anytime* progresivo que permite detener en cualquier momento el cálculo de la solución, garantizando siempre una respuesta. De esta forma, se consigue un método que proporciona una respuesta en un tiempo finito cuya calidad va aumentando progresivamente hasta que alcanza la solución óptima (Carrascosa y otros, 1997).

Podemos citar también el algoritmo genético, presentado para resolver el problema de corte en una dimensión, el cual es una alternativa que ha superado a la programación lineal clásica en cuanto a que logra optimizar en aspectos donde el otro método se queda corto. La optimización multiobjetivo no es algo simple de tratar, pues dichos objetivos pueden en general ser contradictorios y bastante difíciles de cuantificar. En este caso se ha logrado una función objetivo para el algoritmo genético que nos optimice en todos los aspectos importantes en este proceso productivo específico, con resultados bastante buenos a pesar de la aleatoriedad propia del algoritmo genético. Además de mejorar los resultados de la programación lineal, se logró el objetivo inicial, que era mejorar notablemente los resultados obtenidos por un experto trabajando el problema de forma manual. Los tiempos de ejecución del algoritmo son mínimos en comparación a lo que tarda una persona en organizar los patrones, pero además reduce el desperdicio a la mitad y utiliza menos patrones en el proceso (Jaramillo y otros, 2008).

En el caso de la Empresa Gráfica Cienfuegos se considera que es oportuno utilizarla para optimizar el proceso de corte de cartulina. Por tal motivo se procede a estudiar y analizar todo lo relacionado con esta actividad en dicha entidad.

En la Empresa Gráfica Cienfuegos, se recibe la materia prima en pliegos de 70 cm x 100 cm y a partir de ellos se preparan los diferentes formatos que pasan a la fase de impresión, lo cual constituye una **situación problemática** porque existen ineficiencias en el uso de las materias primas ya que hay altos niveles de desperdicios al ejecutar el corte de los pliegos de cartulina en la guillotina, generando un aumento de las emisiones de polvillo a la atmosfera y gasto de energía eléctrica, lo que condujo a plantear como **problema**, la necesidad de

contar con herramientas matemáticas para el corte más adecuado que minimice los desperdicios e incidir así en la producción más limpia.

De esta forma definiremos como **objeto de estudio para la investigación**: los métodos para el corte de materiales y como **campo de acción**: los métodos matemáticos para el corte de materiales.

El **objetivo general** del trabajo es aplicar la producción más limpia en los procesos de corte de materiales con el apoyo de la modelación matemática.

Para el logro de este objetivo general se desarrollan los siguientes **objetivos específicos**:

- 1- Revisar la bibliografía.
- 2- Analizar los modelos matemáticos de corte.
- 3- Plantear el modelo matemático adecuado que dé respuesta a las necesidades.
- 4- Validar el modelo matemático creado para el corte de las materias primas de la empresa adquiridas en el año 2013.
- 5- Valorar económicamente las ventajas de la aplicación del modelo.

Como **idea a defender** se plantea que la aplicación de la producción más limpia en los procesos de corte de materiales con el apoyo de la modelación matemática, favorecerá significativamente la toma de decisiones en lo que respecta al plan de corte a ejecutar en la guillotina satisfaciendo los requerimientos productivos y minimizando el desperdicio en la empresa.

La **justificación del trabajo** desde el punto de vista práctico permitirá profundizar el estudio del tema en la situación concreta de la gestión ambiental y la utilización de la modelación matemática aplicada a la producción más limpia, como herramienta para la eficiencia empresarial de la entidad. Su valor práctico radica en la factibilidad y pertinencia demostrada de poder implementar el modelo matemático para optimizar el corte de materiales y así minimizar la generación de residuos en el proceso de corte de cartulina. Con los resultados de este trabajo la

Empresa Gráfica constará con elementos matemáticamente fundamentados para la planificación y el control de los planes de corte para los distintos tipos de formatos, contribuyendo con una mejor gestión de los residuos como vía para incrementar el valor agregado de las producciones de la empresa.

La metodología utilizada en este trabajo es la siguiente:

🕒 Del nivel teórico:

- 🕒 Histórico lógico: Para profundizar en los antecedentes de las aplicaciones de la modelación matemática de corte de materiales en el mundo precisando las características de los modelos de corte utilizados viendo sus tendencias, sus ventajas y desventajas con relación al objeto propuesto en nuestra investigación.
- 🕒 Análisis sintético: Para procesar las informaciones obtenidas, analizando los modelos de corte que nos permita arribar a conclusiones parciales y generales
- 🕒 Inductivo deductivo: Para dar respuestas a las interrogantes planteadas en la investigación, infiriendo proposiciones de casos particulares que se generalicen y particularicen nuevamente.
- 🕒 Modelación: El modelo matemático para el corte creado es una reproducción simplificada de la realidad de la empresa, que nos va a permitir estudiar y aplicar en nuevas relaciones productiva necesitadas de la minimización de desperdicios.
- 🕒 Sistémica: Que nos permita organizar, consolidar y establecer nexos y relaciones existente entre los elementos que componen el modelo como las variables, las restricciones y la función objetivo.
- 🕒 Métodos estadísticos y matemáticos: La modelación matemática para el corte de materiales mediante el algoritmo de la programación lineal y el paquete de programas WinQSB para la corrida del modelo con los datos particulares de la empresa.

🕒 Del nivel empírico:

- 🕒 Método utilizado: El método de observación que se utiliza en determinados momentos de la investigación, constatando el trabajo que se realiza en la empresa en función de la construcción del modelo matemático para optimizar el proceso de corte de cartulina es la entrevista a operarios y directivos como método para evaluar el conocimiento empírico de los mismos, su preparación y asimilación con respecto al posible perfeccionamiento de este proceso.

El presente trabajo consta de introducción, tres capítulos, la estructura de cada capítulo es la siguiente:

🕒 Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.

En el primer epígrafe de este capítulo se ofrece un análisis conceptual de la producción más limpia. En el siguiente epígrafe se presenta la modelación matemática como herramienta de la producción más limpia en la Industria Gráfica, conceptos y uso de la modelación económica matemática, caracterizando el paquete de programa WinQSB y por último vemos la aplicación de la modelación matemática para la optimización del corte en función de la producción más limpia.

🕒 Capítulo 2: Metodología para la optimización del corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos.

En el primer epígrafe de este capítulo realizamos una breve descripción de la empresa y la forma de decidir las variantes de corte de las materias primas. En el segundo epígrafe se aborda una evaluación de la situación actual del corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos y por último en su tercer epígrafe se ofrece una descripción del modelo general propuesto para optimizar el corte de materiales aplicado por Cortés y colaboradores, ofreciendo una mejor visión del método matemático de corte aplicado a la producción más limpia.

---

☞ Capítulo 3: Análisis de los resultados.

En el primer epígrafe se presentan los resultados obtenidos en la interpretación de los modelos, a continuación en su segundo epígrafe se realiza una valoración económica de estos resultados utilizando el modelo matemático basado en datos del año 2013, por último se realiza una propuesta de estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo en la empresa.

Finalmente se ofrecen las conclusiones generales y las recomendaciones resultantes del trabajo realizado. Al final se registra la bibliografía y un grupo de anexos que complementan los resultados expuestos.

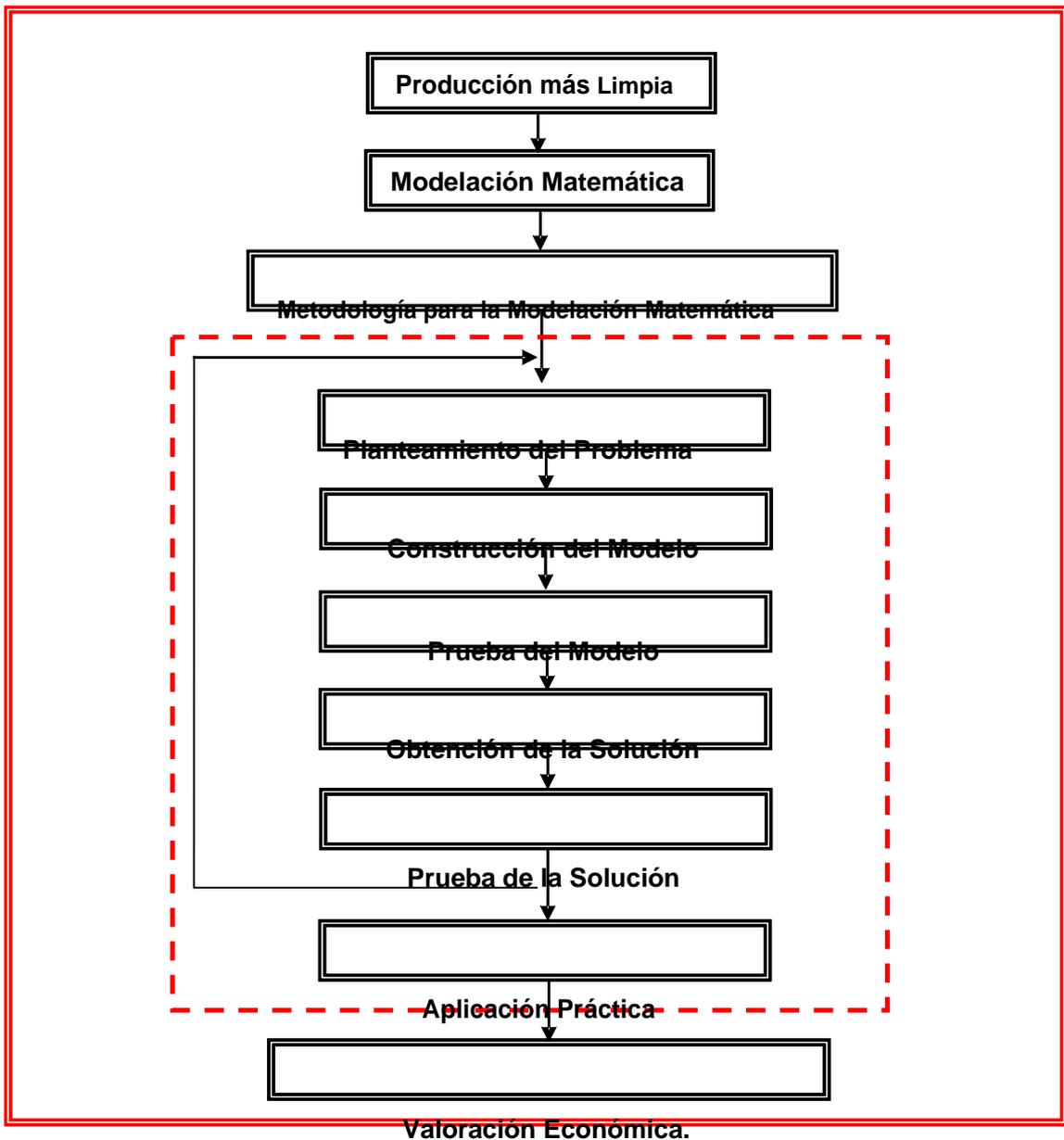
## *CAPÍTULO I*

---

**Capítulo I: Revisión bibliográfica.**

En este capítulo se realiza un análisis conceptual sobre las definiciones e importancia de la producción más limpia las cuales poseen un potencial para alcanzar exitosamente cualquier mejora de procesos. Como parte fundamental de la producción más limpia tratamos la modelación económico matemática como una herramienta para la disminución de los desechos, que integra de forma temprana el componente ambiental en los productos. Luego se caracteriza el paquete profesional WinQSB, herramienta utilizada para correr los modelos y por último se valora la aplicación de diferentes trabajos con vistas a optimizar el proceso de corte de materiales.

En la siguiente figura se presenta el hilo conductor, donde se organizan todos los temas abordados en este capítulo.



**Figura 1.0:** Hilo Conductor de la Investigación.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

### 1.1 Producción más limpia.

La producción más limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios, para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente.

En los procesos de producción se aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de residuos y emisiones. Existen declaraciones que la producción más limpia puede ser alcanzada de varias formas, de ellas, las tres más importante son: cambiando actitudes (métodos de trabajo), aplicando know how y mejorando la tecnología.

Ello significa implementar un grupo importante de acciones y medidas dirigidas a garantizar la eficiencia en el uso de las materias primas, agua y energía, reducir el uso de sustancias tóxicas, prevenir y minimizar la generación de residuales y lograr su reúso o reciclaje (Blazej and A. 1998; UNEP 2000).

### **1.1.1 Conceptos e importancia de producción más limpia.**

El concepto de producción más limpia, fue lanzado por vez primera en el año 1989, por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), quien ha actuado como su promotor y ha incidido en la divulgación de la información relacionada con este tema. Así, en el año 1994, surge el programa internacional de producción más limpia creado bajo la iniciativa conjunta del PNUMA y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), con el objetivo de desarrollar capacidades nacionales en producción más limpia y fomentar el desarrollo industrial sostenible en países subdesarrollados.

En 1998 el PNUMA lanza la declaración internacional de producción más limpia, firmada por un importante número de países, organizaciones empresariales e instituciones de todo el mundo. En la actualidad Cuba también es signataria de esta declaración, que tiene como objetivo asegurar el compromiso de los países de adoptar estrategias de producción más limpia.

El PNUMA define la producción más limpia como: «aplicación continua de una estrategia integrada de prevención a los procesos, productos y servicios, para

aumentar la eficiencia y reducir los riesgos a la vida humana y al medio ambiente» (PNUMA, 1998).

Este concepto fue definido sobre la base de cuatro criterios:

1. Puesta en práctica de una estrategia ambiental preventiva;
2. Conservación de materias primas y energía, eliminación de los materiales tóxicos, reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos antes de que se concluya el proceso productivo;
3. Reducción de los impactos en todo el ciclo de vida del producto, es decir desde que se extraen las materias primas hasta su destino final;
4. Así como la constante aplicación de conocimientos, mejoramiento de la tecnología y cambio de actitudes.

La producción más limpia está dirigida fundamentalmente a evitar la generación de residuos y emisiones, a disminuir el consumo de materias primas, materiales auxiliares, agua y energía para contribuir así a la elevación del desempeño ambiental y económico de una organización (Ochoa, 2007; Rivera, 2002).

Producción más limpia según (Ochoa, 2007; Castillo, 2004), significa:

☞ Para los procesos de producción:

- Ahorro de materias primas, agua y energía.
- Eliminación de materiales tóxicos.
- Reducción en cantidad y toxicidad de residuos y emisiones.

☞ Para el diseño y desarrollo de productos:

- Reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final.

☞ Para los servicios:

- Incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y entrega de los servicios.

En el sector gráfico, de forma similar a cualquier sector de actividad económica, la adaptación a prácticas más sostenibles requiere la integración de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales en los procesos, debe implicarse intensamente adoptando métodos de trabajo que contribuyan a una mejor calidad de vida y a la sostenibilidad de la actividad.

Por otro lado, es responsabilidad de los clientes sensibilizarse y exigir estándares ambientales cada vez más altos para poder influir directamente en la evolución de este sector hacia un futuro más sostenible.

### **1.1.2 Producción más limpia en la Industria Gráfica.**

La importancia de la producción más limpia, son conceptos que han penetrado fuertemente en toda la cadena industrial, y el sector gráfico no ha sido la excepción. En la medida en que las empresas del sector han hecho de su actividad productiva un proceso con responsabilidad social, en el que, entre otros aspectos, controlan su impacto sobre el ambiente. Estos resultados se han visto reflejados en varios efectos multiplicativos, que van desde una mejora de la percepción de la empresa, hasta un incremento real sobre la productividad.

La industria gráfica, al igual que las demás actividades sociales, se ve afectada por medidas cada vez más estrictas, adoptadas por las autoridades encargadas del medio ambiente, para la protección del aire, el agua y para controlar la disposición de los residuos sólidos. A la orden del día están el manejo sostenible de la gestión forestal, la aceptación por parte de diseñadores y consumidores de materiales y bienes producidos bajo consideraciones de protección ambiental, la minimización del impacto ambiental de los procesos productivos a lo largo de toda

la cadena, la recuperación y reciclaje del papel y la cartulina entre muchas otras actividades (Silgado, 2000).

Son comunes en la industria gráfica, la generación de grandes volúmenes de posibles contaminantes, que se evalúan de diferentes formas: (Rizzo, 2008).

- Los residuos de revelado de películas, no se consideran residuos líquidos contaminantes y son vertidos al alcantarillado.
- No se utiliza papel reciclado con el argumento que no es aceptado por los clientes.
- No se guardan restos de tintas para su rehúso.
- No se desarrollan implementaciones para minimizar la dosificación de alcohol isopropílico.
- Falta de información de la volatilidad de los solventes de limpieza y los problemas de su uso, tanto para la salud como para el medio ambiente.
- No se realiza una adecuada separación de residuos de papel y cartón.
- No se llevan registros de consumo de materia prima o materiales ni de generación de residuos (Castro, 2009).

Los dos últimos aspectos, son los de mayor peso en la industria gráfica, por lo que resulta de gran importancia prestarle suma atención. La gradual progresión desde “ignorar” hasta “prevenir”, ha culminado con la comprensión de que es posible alcanzar beneficios económicos para la industria, así como un mejoramiento ambiental para la sociedad. Este es, en esencia, el objetivo de la producción más limpia.

La industria gráfica se caracteriza por ser diversa, tanto en tipos de empresas como en procesos de impresión. Dentro de esta variedad, se pueden diferenciar dos realidades:

1. Existe un grupo reducido de empresas grandes y medianas, que han involucrado la gestión medioambiental dentro de sus estándares de producción.
2. Las empresas más pequeñas, tienen un reto aún mayor, pues están muy por debajo de las capacidades tecnológicas y administrativas de las grandes y, además, cuentan con un bajo nivel de profesionalización de sus recursos humanos.

Las empresas más pequeñas de la industria, han invertido pocos recursos en el mejoramiento de las condiciones ambientales, por lo que es factible identificar errores comunes como: (Castro, 2009).

☞ Durante la gestión de los recursos:

- Usar papel no reciclado.
- No ofertar productos de imprenta con papel reciclado o ecológico.
- No aprovechar al máximo el papel y la cartulina, las tintas y otros productos consumibles.
- No realizar una buena gestión en los stocks de almacén, haciendo que el papel, material de encuadernación, tintas, productos químicos, etc. pierdan calidad.
- No aprovechar al máximo las piezas en los cortes, desperdiciando gran cantidad de papel y cartulina.
- No realizar una buena gestión del consumo eléctrico ni introducir medidas de ahorro.
- Mantener los ordenadores, impresoras y otros aparatos electrónicos para la impresión de papel y cartulina en funcionamiento cuando no se están usando.
- Utilizar más agua de la necesaria en los procesos de fabricación.

☞ Durante la gestión de la contaminación y los residuos:

- No aprovechar los cauces para la recuperación que ofrecen las bolsas de subproductos de papel y cartón, productos químicos, envases y embalajes.
- No realizar la separación de los residuos ni depositarlos en el lugar adecuado.
- No utilizar, cuando sea posible, ambas caras de los pliegos usados para pruebas de impresión y maquetación.
- Verter productos resultantes del proceso de fabricación a la red de aguas residuales.
- Gestionar de forma incorrecta los residuos peligrosos, incluyendo sus envases.
- Utilizar productos químicos para los procesos de pre-impresión, impresión y post-impresión sin tener en cuenta su capacidad para dañar el medio ambiente.
- No utilizar sistemas de aislamiento del ruido.
- No realizar un mantenimiento periódico de la maquinaria y los equipos informáticos.

La identificación de errores o malas prácticas, es sólo el primer paso a la hora de implantar un sistema de gestión medioambiental. Sin duda, todas las empresas del sector conocen la importancia de articular este tipo de prácticas en su día a día, pero pocas identifican los pasos a seguir y los beneficios reales que se obtienen una vez implantado el modelo (Castro, 2009).

En las condiciones actuales, es mucho lo que la industria gráfica puede hacer. La recomendación no es limitarse a acciones aisladas en ciertos puntos del proceso productivo, la idea es implementar una política consistente de gestión ambiental, para ello el primer paso es la implementación de la norma de gestión de la calidad NC ISO 9001, que permitirá fácilmente incorporar las normas internacionales de gestión ambiental de la NC ISO 14001.

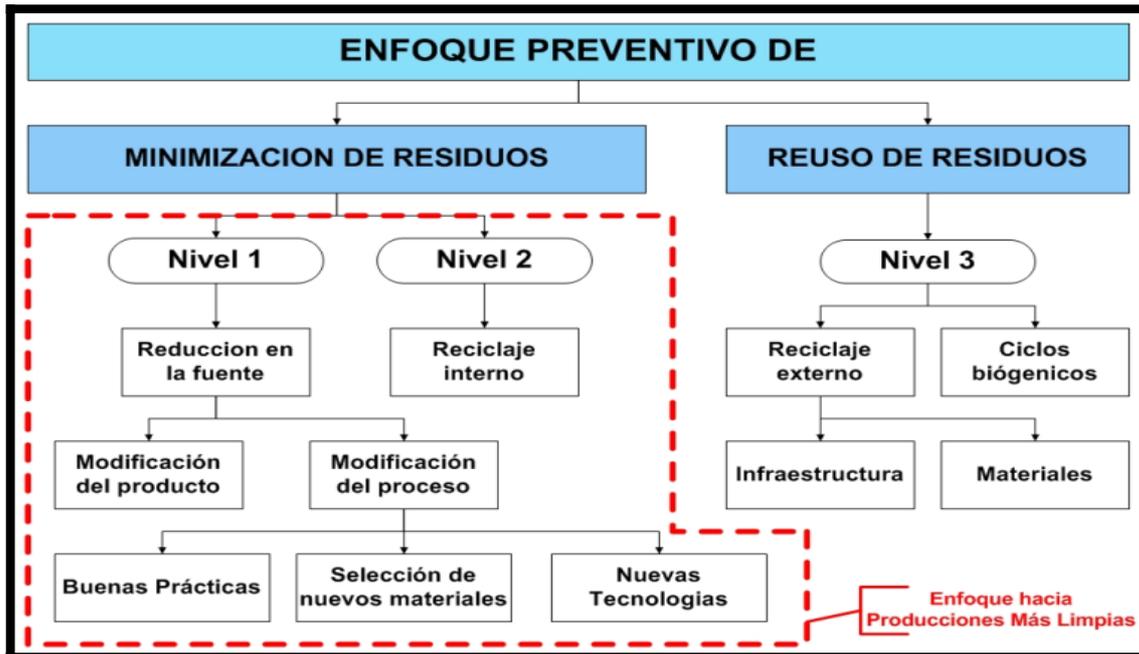
El tema ambiental en la industria gráfica, aún está lejos de constituir una herramienta de trabajo, pero paulatinamente la necesidad de contemplarlo dentro de las estrategias de desarrollo de las mismas, se va convirtiendo en una necesidad perentoria, si quieren lograr la eficiencia y la competitividad que sus países esperan de ellas.

La modelación matemática es uno de los principales instrumentos que pueden usarse para la optimización de los procesos en aras de lograr una producción más limpia en la empresa.

## **1.2 La modelación matemática como herramienta de la producción más limpia.**

Para aplicar una estrategia de producción más limpia, evidentemente hay que tener en cuenta un enfoque preventivo, en nuestro caso sería la minimización de residuos producidos durante la ejecución del corte de forma empírica y no sustentado en un método matemático con enfoque de producción más limpia.

En el nivel 1 de la siguiente figura se aborda la solución de los problemas en la fuente, es la mejor alternativa que se puede aplicar. Aunque existen diferentes alternativas para la prevención de la contaminación como se señala a continuación:



**Figura 1.1:** Estrategia para aplicar los principios de producción más limpia.  
**Fuente:** “Tomado de Protección ambiental y producción más limpia. Parte 2”.

En nuestro caso el problema que se formula, en términos generales, es qué valores deberían tener las variables para que la expresión matemática tenga el mayor valor numérico posible (maximización), o el menor valor numérico posible (minimización).

A este proceso general de maximización o minimización se le denomina optimización (Cortés y otros, 2005).

En el modelo utilizado en este trabajo el óptimo sería la variante de corte que menos desperdicio genere.

### 1.2.1 Concepto y uso de la modelación económico-matemática.

La modelación económico-matemática puede ser definida intuitivamente como un conjunto de representaciones formales de carácter matemático, aplicado a la solución de problemas económicos, ya sea en forma directa o indirecta.

Como ejemplo de modelo matemático aplicado en forma directa a la economía puede tomarse el de un modelo de optimización, cuyo objetivo es maximizar o minimizar alguna función de índole económica. Como ejemplo de modelo matemático aplicado en forma indirecta a la economía podría tomarse cualquier modelo de regresión y correlación, que permite la estimación de parámetros que constituyan datos de un modelo de optimización. Matemáticamente se define una solución óptima como aquella que satisface las condiciones del problema y que logra el mejor valor (máximo o mínimo) a la función objetivo (Cortés y otros, 2005).

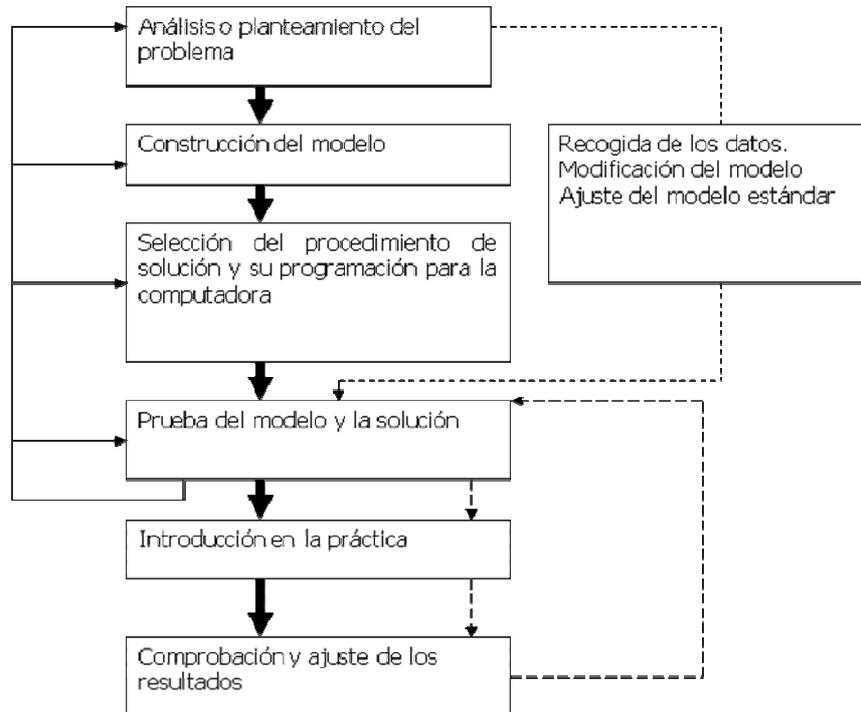
Cuando se plantea la construcción de un modelo económico-matemático, deberá tenerse presente un enfoque sistémico, es decir, considerar el sistema cuyo problema se desea resolver en forma aislada respecto a otros sistemas, y al mismo tiempo interrelacionarlo con otros sistemas, con el medio externo en el que se encuentra ubicado. Aplicar el enfoque sistémico permite concebir supuestos más reales que toman en consideración la influencia externa sobre el sistema, así como la influencia del mismo sobre el medio (Cortés y otros, 2005).

La programación lineal concierne a la solución de un tipo de problema especial, en el cual todas las relaciones entre las variables son lineales o en la función objetivo a ser optimizada. El problema general de la programación lineal puede ser descrito como sigue: Dado un conjunto de  $m$  inecuaciones lineales o ecuaciones con  $n$  variables, se desea encontrar valores no-negativos de esas variables los cuales satisfagan el conjunto de restricciones que maximicen o minimicen una función lineal de las variables (Castillo y otros, 2002).

En términos generales la programación lineal incluye los siguientes aspectos de interés para nuestro estudio: (Castillo y otros, 2002).

- a) Planteamiento del problema.
- b) Solución gráfica (a modelos de 2 variables).
- c) Solución analítica.
- d) Análisis de post-optimalidad.

Como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 1.0:** Pasos de la modelación matemática.

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se detalla cada fase de la modelación matemática: (Cortés, 1999).

🕒 Planteamiento de problemas:

Paso 1: Definición de las variables.

Paso 2: Construcción del Sistema de Restricciones.

Paso 3: Construcción de la Función Objetivo.

🕒 Definición de las variables de decisión:

Una variable de decisión es la representación de cada una de las actividades que conforman el problema. Al definir una variable de decisión deben tenerse en cuenta dos definiciones:

☞ Definición conceptual:

Con esta definición se determina la actividad (o variable) en el contexto del problema, logrando que esta actividad sea independiente. Para ello se deben tener en cuenta los principios de: (Cortés, 1999).

- a) Unicidad de origen.
- b) Unicidad de destino.
- c) Unicidad de estructura tecnológica.
- d) Unicidad de coeficiente de coste.

Estos principios se refieren a que cada actividad sea única en su origen, su destino, su tecnología y el valor que se le asigne a la función objetivo.

☞ Definición dimensional:

Esta definición se refiere al aspecto cuantitativo de la actividad, es decir, la selección de la unidad de medida que se va a representar en el modelo.

⌚ Construcción del sistema de restricciones:

En cuanto al sistema de restricciones y a cada restricción en particular se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Determinar la limitación o restricción que presupone dicha restricción, analizando el signo de la misma {<,=,>}, la dimensión física y el valor del término independiente  $b_i$ .

Paso 2: Determinar las variables que entran en la restricción.

Paso 3: Determinar el valor particular del coeficiente tecnológico de dicha restricción y en cada variable del problema ( $j=1, n$ ), esto es,  $a_{ij}$ .

☉ Construcción de la función objetivo:

La función objetivo es la expresión del propósito u objetivo final que deseamos alcanzar al resolver el problema. En la función objetivo deben aparecer las variables del problema multiplicadas por su coeficiente de costos  $C_j$ , el cual debe estar determinado adecuadamente.

Algunos problemas que resuelve la programación lineal son: (Cortés, 1999).

- ☉ Problemas de análisis de la producción.
- ☉ Transportación de productos terminados.
- ☉ Asignación de recursos.
- ☉ Inversiones.
- ☉ Localización de plantas.
- ☉ Inventarios.
- ☉ Problemas relacionados con redes.
- ☉ Problemas de mezcla.
- ☉ Problemas de dieta.
- ☉ Problemas de corte de materiales.
- ☉ Ruta crítica.
- ☉ Otros.

### **1.2.2 Caracterización del paquete de programas profesional computacional WINQSB.**

En el epígrafe anterior se habla sobre la importancia de la utilización de la computación en el procesamiento de los modelos matemáticos para obtener la solución óptima, si existe. En este trabajo fue utilizado para tales fines el paquete profesional WINQSB (la versión existente está en idioma Inglés).

El WINQSB tiene 19 módulos distintos, para ser utilizados en la solución de distintos problemas. En este trabajo se utiliza el módulo 10 correspondiente a la

programación lineal y la programación en enteros. A continuación se realiza una breve descripción de sus características más generales (Bello y otros, 2010).

Formulación del problema:

- ☞ Título del problema.
- ☞ Cantidad de variables.
- ☞ Cantidad de restricciones.
- ☞ Función objetivo: Maximizar/Minimizar.
- ☞ Selección de formato para entrada de datos.
- ☞ Tipo de variable: Continuas no negativa, enteras no negativas, binarias 0 - 1, sin restricciones.

Trabajo con el módulo de programación lineal y programación en enteros:

Después de llamar el WINQSB sale en el menú inicio todos los módulos existentes y se ejecuta la opción de programación lineal y programación en enteros, seguidamente aparecen en pantalla tres opciones donde se puede leer un problema salvado con anterioridad, definir un nuevo problema o salir. También está presente la ayuda para ser utilizada en caso necesario.

Una vez introducida la información y aceptar, sale otra ventana donde aparece en la parte horizontal la cantidad de variables que se informó, en la vertical se encuentran el criterio de la función objetivo y las restricciones, el tipo de variables, sus límites inferiores y superiores; al ser dado cada dato del problema queda construido el modelo para iniciar su procesamiento. En esta ventana se presentan opciones propias de Windows como pegar, cortar, etc, además se da la posibilidad de hacer cambios en las condiciones del problema.

Posteriormente se ejecuta la opción de resolver el problema que se encuentra ubicada en la barra de herramientas, aquí es posible obtener la solución óptima

del modelo directamente o trabajar por pasos (ir inspeccionando nodo a nodo las soluciones existentes hasta llegar a la óptima, si existe) (Bello y otros, 2010).

Por último se acepta el cuadro de diálogo mostrado e inmediatamente se visualiza la solución óptima, si existe. Después se puede desplazar un menú con la posibilidad de mostrar la solución de diferentes formas y realizar distintos análisis. También se puede imprimir, salvar, etc, la información obtenida (Bello y otros, 2010).

### **1.2.3 Aplicación de la modelación matemática para la optimización del proceso de corte en función de la producción más limpia.**

El proceso de corte de materiales puede ser clasificado en unidimensional (se considera una dimensión lineal del material y de las piezas a cortar) y bidimensional (se consideran dos dimensiones lineales de materia prima y de las piezas a cortar).

Es amplia la bibliografía que hace referencia a esta temática (corte unidimensional y bidimensional). En la consultada se analizó en particular lo referido al corte bidimensional y se pudo apreciar que el tratamiento matemático del mismo se realiza de variadas formas. En este trabajo se tomó como punto de partida la idea de (Kantorovich, 1939) a partir de la teoría de la programación en enteros muy asociada a la utilización de paquetes de programas computacionales. Fueron consultados en detalles los artículos “Dos algoritmos de piezas rectangulares” y “Sistemas de corte de piezas rectangulares” (Villariño, 1991), donde se aborda con un enfoque teórico práctico al corte de materiales de forma interesante pero por no estar en correspondencia directa con la situación que se presenta en la empresa no se asume esta variante de trabajo.

En el artículo publicado por (Carrascosa y otros, 1997), titulado “Implementación de un Sistema de Optimización para el Corte de Materia Prima Mediante un Algoritmo Anytime”, analiza la aplicación de técnicas heurísticas al problema de

planificación y control del proceso de corte de materia prima continua. Dicho problema es relevante en multitud de empresas de diversa índole (papelera, cartonera, textil, maderera, metalúrgica,...) en las que se requiere cortar láminas o bobinas de materia prima para producir piezas de determinadas dimensiones, minimizando las pérdidas de materia prima que se generan.

Esta aplicación no se asume como punto de partida nuestro, ya que se ha desarrollado una aplicación basada en técnicas de inteligencia artificial para la optimización de un sistema de corte, que no es nuestro objetivo.

Podemos citar también el artículo publicado por (Jaramillo y otros, 2008), donde utilizan un algoritmo genético buscando también optimizar la cantidad de material a utilizar en un proceso de producción, éste llega a la conclusión que el método citado anteriormente es superior al de programación lineal. En el trabajo se presenta un modelo de programación lineal de corte de un número muy alto de variables y restricciones que es lo que lo hace no aplicable, en nuestro caso el modelo que se utiliza es muy factible.

En la tesis de maestría “Métodos Matemáticos en la Dirección de los Procesos de Corte de Materiales” (De León, 1996), se trata la utilización de métodos matemáticos en el proceso de corte de materiales para empresas de la construcción, talleres de confecciones textiles y una fábrica de espejos de la provincia de Cienfuegos. La similitud con este trabajo radica principalmente en que se aplica el modelo de corte para piezas bidimensionales para minimizar los desperdicios del corte, diferenciándose de este trabajo en que se trata también el corte unidimensional.

En la tesis de maestría “Un procedimiento matemático para la optimización del proceso de corte de papel en la Empresa Gráfica Cienfuegos” (Terry, 2004), se analiza el corte de papel en diferentes pliegos en dicha entidad. Se toma como referencia pues se llega a la conclusión que los pliegos 70 cm x 100 cm son los que generan menos desperdicio en la empresa, en nuestro caso se analiza este

tipo de materia prima para la cartulina y se estudia el impacto en lo económico y social.

Se tiene como referencia también la tesis de grado “Optimización del proceso de corte de papel en la Empresa Gráfica Cienfuegos” (Morales, 2004), donde se obtuvo como resultados que la Empresa Gráfica constará con elementos matemáticamente fundamentados para la planificación y el control de los planes de corte del papel que se recibe en pliegos de 70 cm x 100 cm para los distintos tipos de formatos. Aquí también se utiliza el modelo de corte para minimizar desperdicios en pliegos de la misma dimensión a los tratados en este trabajo pero con formatos diferentes a obtener del corte, además el material cortado es papel. En el trabajo antes referido no se hace énfasis en los modelos de producción más limpia.

Esta problemática se ha venido trabajando en la Empresa Gráfica Cienfuegos en varios trabajos realizados, descritos en los párrafos anteriores, pero no se ha logrado su aplicación y perfección debido a diferentes causas, entre ellas:

- ☉ Los trabajos anteriores han tenido sus limitaciones, presentando un enfoque matemático y no de producción más limpia, por lo que se hace necesario realizar un estudio integral.
- ☉ En los últimos años ha existido fluctuación del personal encargado de aplicar la corrida del modelo matemático.
- ☉ Limitaciones en recursos materiales para instalar el software.
- ☉ Falta de capacitación del personal.
- ☉ No se ha documentado en un procedimiento obligatorio dentro del sistema integrado de gestión.

A partir del enfoque general presentado en los trabajos mencionados en párrafos anteriores se trata en el próximo capítulo, a través de la modelación matemática, el proceso de corte en la Empresa Gráfica Cienfuegos en función de la producción más limpia.

---

### **Conclusiones del Capítulo 1:**

Podemos concluir este capítulo teniendo presente que:

1. El método actual de corte de materiales en la Empresa Gráfica Cienfuegos tiene posibilidades de mejoras en busca de reducir el impacto ambiental, ya que existe un alto potencial de minimizar los desperdicios.
2. Se demuestran las ventajas que tiene la modelación matemática en la empresa para optimizar procesos de corte, vinculados a la producción más limpia con vistas a la disminución del consumo de materias primas.
3. Se realiza una caracterización del paquete de programa WINQSB utilizado para la optimización del corte en la empresa.

De esta forma están dadas las condiciones para abordar en el próximo capítulo una metodología para la optimización del corte en la Empresa Grafica Cienfuegos.

## *CAPÍTULO II*

---

## **Capítulo II: Metodología para la optimización del corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos.**

En este capítulo se plantea la metodología para la optimización del corte en la empresa, primeramente se describe la entidad, posteriormente se evalúa la situación actual del corte de cartulina y por último se plantea el modelo general para el corte de materiales adaptado a las condiciones actuales de la empresa, ofreciendo una mejor visión del método matemático de corte aplicado a la producción más limpia.

### **2.1 Descripción de la Empresa Gráfica Cienfuegos.**

El 29 de julio de 1992 se creó el Centro Gráfico de Reproducciones para el Turismo en Cienfuegos por resolución ministerial No. 27, la que fue modificada por la resolución ministerial No. 57/03, de fecha 7 de marzo de 2003, firmada por Jesús Pérez Othón, Ministro de la Industria Ligera, en relación con la conversión de su estructura, la cual adoptó la forma de Empresa, denominándose Empresa Gráfica Cienfuegos, integrada a la Unión Integración Poligráfica, subordinada al Ministerio de la Industria Ligera (MINIL), hasta el 11 de octubre de 2012 que mediante el decreto ley No. 299 en su artículo 1 se extingue el Ministerio de la Industria Ligera, creando en su artículo 2 el Ministerio de Industrias (MINDUS).

La elevada calificación profesional en el dominio de la tecnología de avanzada que posee y el desarrollo de sus cuadros en la aplicación de las modernas técnicas de dirección, han convertido a nuestra empresa en líder de las producciones gráficas del territorio.

Su código oficial es el No. 10701179. Cuyo objeto social fue modificado y ampliado mediante la resolución No. 430/07 del Ministerio de Economía y Planificación con fecha 20 de septiembre de 2007.

### **2.1.1 Misión y visión de la empresa.**

La Empresa Gráfica Cienfuegos cuenta con una cultura por la calidad, que se manifiesta en el compromiso de la alta dirección y de todo el personal, al definir su misión, visión y objeto empresarial de la siguiente forma:

La **misión** de la empresa definida por el colectivo de dirección y los trabajadores, después de efectuado el diagnóstico y aplicación de la dirección por valores es la siguiente:

Un dedicado equipo de trabajo asegura calidad en la producción y comercialización de impresos comerciales, impresiones gráficas, fototransfer y otras de la industria gráfica. Unidos se trabaja por lograr la satisfacción de sus clientes y alcanza resultados económicos que le permiten un adecuado desarrollo de sus producciones y el crecimiento de sus ventas mayoristas.

Su gestión positiva es el resultado de la aplicación de los conocimientos y el perfil amplio de sus trabajadores, conducidos por un equipo que se califica en las nuevas técnicas de dirección participativa y con espíritu de sacrificio se enfrenta a las diferentes tareas y misiones haciendo de la empresa un bastión inexpugnable de la Revolución Socialista con alto valor revolucionario.

**Visión:** La elevada calificación profesional en el dominio de la tecnología de avanzada que posee y el desarrollo de sus cuadros en la aplicación de las modernas técnicas de dirección, han convertido a nuestra empresa en líder de las producciones gráficas más limpias del territorio.

La acertada política de calidad, gestión integrada del capital humano, gestión ambiental de seguridad y salud en el trabajo que desarrolla integralmente la hacen merecedora del reconocimiento de sus clientes y el entorno social que la envuelve la ayuda a perfeccionar.

El **objeto empresarial** de la empresa se basa fundamentalmente en realizar o comercializar:

- ☞ Impresos comerciales a diferentes formatos, foliados, presillados o pegados, los soportes de impresión varían de papel hasta cartulina de diferentes calidades y gramajes.
- ☞ Conversión de bobina de papel a pliegos en diferentes formatos de impresión.
- ☞ Servicios de encuadernación manual, en pegamoide o percalina y estampado.
- ☞ Envases de cartulina blanca cromada de diferentes gramajes y calidades, impresos a colores, en distintos formatos, con relieve para varios usos.
- ☞ Cajas de cartón ondulados con o sin impresión a colores en diferentes formatos y diseños, proporcionando resistencia a la humedad.
- ☞ Servilletas gofradas sencillas, elaboradas con papel tissue, en blanco, empaquetadas en polietileno retráctil, en diferentes formatos.
- ☞ Sobres en varios formatos y modelos en papel de diferentes calidades.
- ☞ Blondas y capacillos de papel de diferentes calidades, troquelado y ondulado con varios tamaños, formas y diseños.
- ☞ Libretas y bloks de papel de diferentes calidades, pueden ser rayados, lisos, cuadriculados con cubierta de cartulina impresa a colores, encuadernados con goma, alambre o canutillo.
- ☞ Cuños de base plástica de diferentes medidas, con textos individuales, sello fechador, giratorio, con ventana visualizadora, impresión de una línea y almohadilla de recambio.

La empresa trabaja por lograr la satisfacción de sus clientes, alcanzando resultados económicos que le permiten un adecuado desarrollo de sus producciones y el crecimiento de sus ventas mayoristas.

Su gestión positiva es el resultado de la aplicación de los conocimientos y habilidades de sus trabajadores, conducidos por un equipo que se califica en las nuevas técnicas de dirección participativa y con audacia se enfrenta a las

diferentes tareas y misiones haciendo de la Empresa un bastión inexpugnable de la Revolución Socialista.

### 2.1.2 Situación económica de la empresa al cierre del año 2013.

La siguiente tabla muestra alguno de los indicadores de la entidad al cierre del ejercicio económico correspondiente al año 2013.

Indicadores	Año 2012			Año 2013		
	Plan	Real	%	Plan	Real	%
Ventas Netas (sin impuesto)	2,600.00	2,625.40	101	2,900.00	3,040.50	105
Costos de Ventas Total	1,728.70	1,871.00	108	2,001.40	2,087.48	104
Utilidad (Pérdida del período)	296.00	301.90	102	395.90	395.90	100
Valor Agregado	1,907.70	1,581.00	83	1,695.90	1,866.00	110
Valor de la Produc. Mercantil	2,600.00	2,620.80	101	2,900.00	3,040.80	105
Gasto por peso de ingreso comed y caf.	1.00	1.12	112	1.00	1.23	122.6
Ind. Ventas netas p/peso Prod. Merc	1.00	1.00	100	0.00	0.00	0.0
Cuentas por Cobrar		269.80			456.31	169.0
Ciclo de cobros		37			55	
Cuentas por Pagar		121.60				
Ciclo de Pagos		25				
Fondo de salario	630.70	519.70	82	560.70	614.90	110
Salario medio	5,734	5,146	90	5,097.27	5,746.73	113
Promedio de trabajadores	110	101	92	110.00	107.00	97
Productividad	17343	15653	90	15,417.27	17,439.25	113
Correlación Salario Med/Prod	0.3306	0.3288	99	0.33	0.33	99
Costo producción mercantil	1,728.70	1,830.60	106	2,001.40	2,129.70	106
Costo por peso Prod Mercantil	0.6649	0.6985	105	0.69	0.70	101
Ventas Netas sin Impuestos	2,600.00	2,625.40	101	2900.00	3045.50	105

Variación Inventario Prod Term	-	(4.6)		0.00	0.30	
Producción Mercantil	2,600.00	2,620.80	101	2900.00	3045.20	105
Valor Agregado Calculado	1,754.10	1,581.00	90	-1,210.00	-1,174.50	97

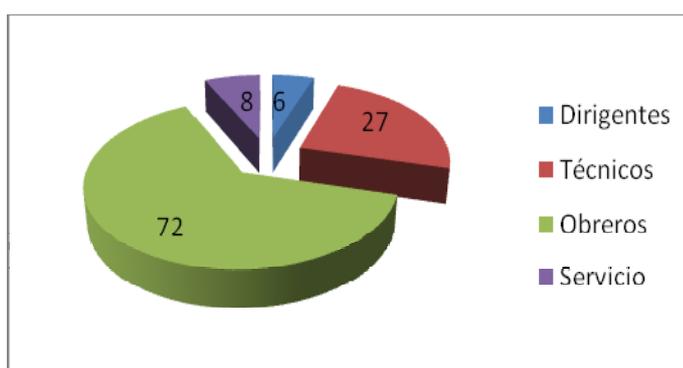
**Tabla 2.0:** Indicadores económicos del año 2013.

**Fuente:** Indicadores económicos de la Empresa Gráfica Cienfuegos.

### 2.1.3 Estructura organizativa de la empresa.

La Empresa Gráfica Cienfuegos está compuesta por la dirección general, tres direcciones funcionales y tres grupos, el organigrama correspondiente se muestra en el **anexo No. 1**.

Teniendo en cuenta los datos que se encuentran en el P4 el total de trabajadores en plantilla es de 113 de ellas 62 mujeres. Esta plantilla se conforma según las categorías ocupacionales por 6 dirigentes (2 mujeres), 27 técnicos (21 mujeres), 72 obreros (33 mujeres) y 8 de servicios (6 mujeres). El salario medio a pagar por plantilla es de 280 pesos. La edad promedio es de 45 años para el total de trabajadores (50 para los dirigentes), según se muestra a continuación.



**Figura 2.0:** Diagrama representativo del capital humano de la Empresa Gráfica Cienfuegos.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.1.4 Sistema de gestión empresarial.**

La elaboración del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) de la Empresa Gráfica Cienfuegos fue liderado por su director general; el cual se manifiesta permanentemente en su gestión diaria y particularmente en la exigencia por la creación y apego a los valores. Este SGC está basado en los requisitos que se establecen en la NC ISO 9001:2008, avalada por el Registro Cubano de Buques (RCB) desde Mayo de 2009.

Para la protección del trabajador contamos con un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST), implantado según requerimientos de la NC ISO 18001:2005 y coherente con las bases de SST establecidas en la resolución 39:2007, emitida por el Ministerio del Trabajo y Seguridad Social.

Con el propósito de proteger y preservar el medio ambiente, nos hemos trazado metas y políticas ambientales, implementadas en un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), diseñado según los requisitos de la NC ISO 14001:2004.

En el **anexo No. 2** se presenta el mapa de proceso de la empresa.

La propia adopción de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) ha sido una decisión importante de la organización. La planificación estratégica como instrumento de dirección, es resultado de la coordinación e integración de los aspectos productivos, económicos, sociales y financieros, logra potencial la iniciativa y los esfuerzos de nuestra empresa en el cumplimiento de las funciones y objetivos económicos, mediante los cuales se logra un proceso de interacción entre las diferentes áreas de resultado clave para lograr los objetivos propios de la entidad, en correspondencia con los objetivos generales trazados por las instancias superiores del organismo (MINIL y la UIP), garantizando la constante retroalimentación de nuestras proyecciones.

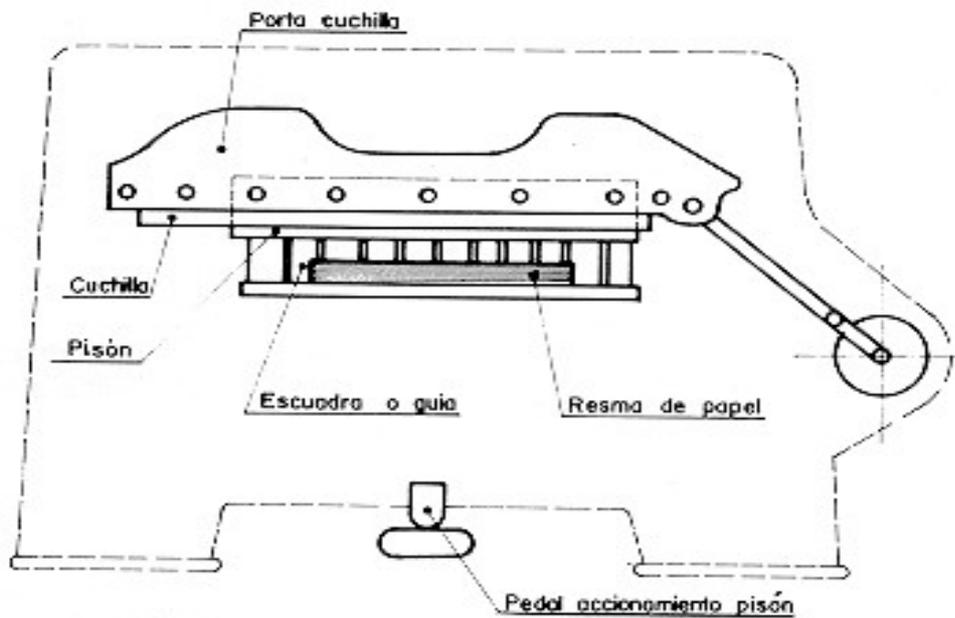
## **2.2 Evaluación de la situación actual del corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos.**

En la empresa se han realizado diferentes trabajos en el corte de materiales (papel y cartulina en distintos gramajes y dimensiones de pliego tipo), a pesar de haber realizado innumerables intentos por mantener esta herramienta matemática no se ha podido lograr, presentándose problemas en su implementación debido a diferentes causas según se detalla en el capítulo anterior epígrafe 1.2, sub epígrafe 1.2.3, p 27.

En el caso del proceso de corte de cartulina no se hace de forma detallada, solo se indica la cantidad de formatos a obtener pero no se contempla la forma en que se ejecuta la actividad, esto se realiza empíricamente según la experiencia práctica de los trabajadores del área. Esto conlleva que existan altos niveles de desperdicios de materia prima y pérdida de tiempo al buscar la variante de corte que más se ajusta al momento. La cartulina se utiliza para cortar los cinco tipos de formatos que se imprimen en la empresa, ver **anexo No. 4**. Las impresiones solicitadas en estos formatos son variadas entre las que encontramos cubierta de libros y libretas, impresión de tarjeterías, producciones promocionales, modelos, etc.

El proceso de corte de cartulina puede ser realizado en las dos guillotinas habilitadas a tales efectos. Estas guillotinas por características técnicas pueden cortar un lote (paquete de 250 unidades de 70 cm. x 100 cm) en cada corte realizado.

Para ello se utilizan guillotinas convencionales provistas de una sola cuchilla que efectúa cortes rectilíneos. Reducida a sus órganos principales, la guillotina consta de:



**Figura 2.1:** Esquema de la guillotina frontal.

**Fuente:** Tomado de (Piqué, 1998).

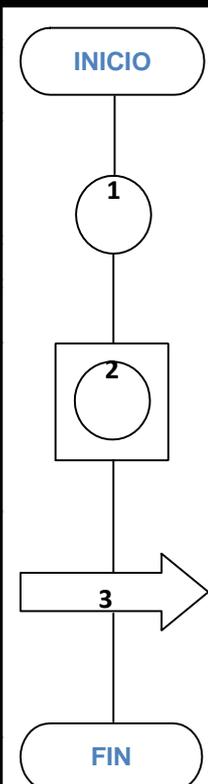
A continuación se detalla cada parte del equipo:

- Bancada: Pieza de fundición sobre la que descansa la máquina.
- Bastidor: Pieza de hierro que se apoya sobre la bancada y soporta la cuchilla y el pisón.
- Mesa o plato: Mesa de fundición planeada sobre la que se apoya la cartulina que se va a cortar.
- Guía o escuadra: Sirve de tope posterior de la resma de la cartulina a cortar.
- Cuchilla: Pieza de acero que presenta en su parte inferior un corte bien afilado a bisel. Su descenso se efectúa en oblicuo en el plano vertical de corte.
- Porta cuchillas: Alojamiento de la cuchilla.
- Pisón: Pieza de fundición que sirve para sujetar la cartulina antes de que la cuchilla efectúe el corte.

Para la impresión de los cinco tipos de formatos que se cortan en la guillotina se tienen tres máquinas impresoras. En el **anexo No. 3** se muestran las características técnicas de cada una de ellas.

### 2.2.1 Análisis del proceso productivo:

En nuestra empresa existen cuatro etapas fundamentales en el proceso productivo, digitalización, pre impresión, impresión offset y encuadernación manual y mecánica, en ésta última se encuentra el corte de materiales (cartulina) en las guillotinas frontales habilitadas a tales efectos. En la siguiente tabla se muestra el proceso de corte de cartulina.

Proveedor	Entradas	Proceso de corte de cartulina			Salidas	Clientes
Importadora Publicigraf	- Pliegos (100 cm x 70 cm) - Energía Eléctrica - Doc. del proceso				- Formatos de diferentes medidas. - Desperdicios * Reusable *Reciclable	- Máquinas impresoras -Encuadernación manual, PAMEX - Materia prima.
		No. Ord. Proceso	Actividad			
		1	Corte de cartulina			
		2	Inspección del tecnólogo y el operario			
		3	Se transporta hacia el taller de impresión.			

**Tabla 2.1:** Proceso de corte de cartulina.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Cuando se calcula el consumo de material para la orden de producción se solicita la materia prima al almacén (cartulina) procedente de la importadora Publicibraf. Seguidamente el departamento de producción confecciona las cartas tecnológicas las cuales son la guía para la realización de todas las operaciones técnicas; posteriormente la cartulina es transportada a la guillotina, donde se corta. El corte se realiza, teniendo presente la solicitud realizada, a partir de la experiencia empírica del guillotinero. Los formatos a cortar están determinados por el tipo de máquina que participará en la impresión. Cada variante (patrón) de corte utilizada por el guillotinero considera solo un tipo de formato. Una vez ejecutada esta acción las salidas de este proceso de corte son dos, los formatos cortados son transportados para la impresión y los desperdicios, los cuales pueden ser reusable (destinados a la encuadernación manual de otros productos de pequeños formatos o la venta a PAMEX) o reciclable (los cuales son vendidos en pacas a la Empresa Recuperadora de Materia Prima).

Es significativo el desperdicio de materia prima que se produce en la entidad, en la siguiente tabla se muestra en detalles los días en que se realizó el corte de cartulina comprendido entre los meses de octubre a diciembre de 2013, en el cual se genera un desperdicio total de 4,28 t de recortería lo cual equivale a un costo de 10 351.35 pesos en moneda total.



Fecha	Cantidad cortada (t)	Cantidad de pliegos	Cantidad de formatos	Tipo de formato	Variante de corte	Precio Moneda Total	Desperdicio (t)	Importe	Cantidad de colores	Tiro o Retiro
02/10/2013	0,66	3550	21300	F 2	5	2 418,54	0,11	266,04	2	Tiro
07/10/2013	0,51	2750	16500	F 2	5	2 418,54	0,09	217,67	2	Tiro
14/10/2013	1,12	6580	26320	F 1 1	1	2 418,54	0,35	846,49	2	Tiro
15/10/2013	1,07	6320	25280	F 1 1	1	2 418,54	0,34	822,30	2	Tiro
17/10/2013	1,07	6320	25280	F 1 2	3	2 418,54	0,34	822,30	1	Retiro
22/10/2013	1,17	6900	27600	F 1 2	3	2 418,54	0,37	894,86	1	Retiro
<b>28/10/2013</b>	<b>1,10</b>	<b>6500</b>	<b>19500</b>	<b>F 3 2</b>	<b>9</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,29</b>	<b>701,38</b>	<b>1</b>	<b>Retiro</b>
<b>28/10/2013</b>	<b>0,93</b>	<b>5500</b>	<b>22000</b>	<b>F 1 1</b>	<b>1</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,30</b>	<b>725,56</b>	<b>1</b>	<b>Retiro</b>
04/11/2013	0,54	3200	19200	F 2	5	2 418,54	0,07	169,30	2	Tiro
06/11/2013	1,27	7500	30000	F 1 2	3	2 418,54	0,41	991,60	1	Retiro
19/11/2013	0,54	3200	19200	F 2	5	2 418,54	0,07	169,30	2	Tiro
22/11/2013	0,93	5500	33000	F 2	5	2 418,54	0,12	290,22	2	Tiro
01/12/2013	0,54	3200	12800	F 1 1	1	2 418,54	0,17	411,15	2	Tiro
<b>05/12/2013</b>	<b>0,55</b>	<b>3250</b>	<b>13000</b>	<b>F 1 1</b>	<b>1</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,17</b>	<b>411,15</b>	<b>1</b>	<b>Tiro</b>
<b>05/12/2013</b>	<b>0,59</b>	<b>3500</b>	<b>10500</b>	<b>F 3 2</b>	<b>9</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,16</b>	<b>386,97</b>	<b>1</b>	<b>Tiro</b>
<b>05/12/2013</b>	<b>0,55</b>	<b>3250</b>	<b>19500</b>	<b>F 2</b>	<b>5</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,07</b>	<b>169,30</b>	<b>1</b>	<b>Tiro</b>
10/12/2013	1,11	6520	39120	F 2	5	2 418,54	0,14	338,60	1	Tiro
12/12/2013	0,55	3250	13000	F 1 1	1	2 418,54	0,17	411,15	1	Tiro
16/12/2013	1,19	7020	42120	F 2	5	2 418,54	0,15	362,78	1	Tiro
<b>18/12/2013</b>	<b>0,51</b>	<b>3000</b>	<b>12000</b>	<b>F 1 1</b>	<b>1</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,16</b>	<b>389,67</b>	<b>2</b>	<b>Tiro</b>
<b>18/12/2013</b>	<b>0,51</b>	<b>3000</b>	<b>18000</b>	<b>F 2</b>	<b>5</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,06</b>	<b>153,37</b>	<b>2</b>	<b>Tiro</b>
<b>18/12/2013</b>	<b>0,51</b>	<b>3000</b>	<b>12000</b>	<b>F 1 1</b>	<b>1</b>	<b>2 418,54</b>	<b>0,16</b>	<b>389,67</b>	<b>2</b>	<b>Tiro</b>

**Tabla 2.2:** Nivel de desperdicio en los días en que se realizó el corte de cartulina comprendido entre los meses de octubre a diciembre de 2013.

**Fuente:** Elaboración propia.



### 2.3 Descripción del modelo general propuesto para optimizar el corte de materiales.

El corte bidimensional de piezas regulares es el que se trata en este trabajo. Las posibles variantes de corte se establecen de forma experimental en los puestos de trabajo. Esto último es importante a la hora de modelar el problema, porque la experiencia empírica de los trabajadores juega un importante papel para la selección de las variantes de corte que son sometidas a consideración en función de buscar la solución óptima para establecer el plan de producción.

El modelo general aplicado por Cortés y colaboradores presentado en los trabajos mencionados en el capítulo anterior, para procesos de cortes bidimensionales y que sirvieron de punto de partida para el presente es el siguiente:

$$\text{MIN DMP} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^r d_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^r P_{ji} x_{ij} \geq l_i$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^r P_{ji} x_{ij} \leq L_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq Q_t ; t = 1; \dots; r \quad x_{ij} \geq 0 \quad x_{ij} \in \mathbb{Z} \quad i = 1; \dots; m$$

Donde:

n: Cantidad de variantes de corte.  $l_i = \sum_{t=1}^r l_{it}$

m: Cantidad de tipos de piezas.

$n_t$ : Cantidad de variantes de corte para la materia prima t.

j: Índice de variante de corte ( $j = 1 ; \dots ; n$ ).

i: Índice del tipo de pieza.

t: Índice del tipo de materia prima.

- r: Cantidad de tipos de materia prima.
- $I_i$ : Necesidad mínima de la pieza de tipo i.
- $L_i$ : Necesidad máxima de la pieza de tipo i.
- DMP: Desperdicio total de materia prima.
- $d_{jt}$ : Desperdicio de materia prima tipo t según la variante de corte j.
- $x_{jt}$ : Cantidad de materia prima tipo t a cortar según la variante de corte j.
- $P_{ijt}$ : Cantidad de piezas tipo i que se obtienen de aplicar la variante tipo j en la materia prima tipo t.
- $Q_t$ : Cantidad de materia prima tipo t.
- $A_t$ : Área Total.

Dicho modelo corre en el paquete de programas descrito en el capítulo 1, pero requiere de adaptaciones a las características del centro en que se va aplicar, en nuestro caso es solo para un tipo de materia prima.

A continuación se procede a la modelación matemática de la situación en estudio, teniendo en consideración las características de producción en la Empresa Gráfica Cienfuegos y los aspectos teóricos abordados en la primera parte de este capítulo.

El modelo, en función de lo valorado con los directivos de la entidad, debe tener en consideración la minimización de los desperdicios totales, la capacidad mínima y máxima de producción de las máquinas impresoras y la posible limitante de materia prima.

Algunos términos utilizados en la redacción del informe:

- ☞ Parles: 2750 pliegos (Cartulina de 250g)
- ☞ Pliego: Unidad de cartulina con medida 70 cm. x 100 cm.
- ☞ Lote: Paquete de 250 pliegos.
- ☞ Formato: Unidad de cartulina con medida según tipo de máquina.

A continuación se presentan elementos relacionados con la modelación matemática de la situación.

- ☞ Variables: Representan la cantidad de veces a utilizar cada variante de corte.

☞ **Coefficientes tecnológicos:** Representan la cantidad de formatos (por tipo) que se obtienen por variante de corte. Para la búsqueda de los primeros coeficientes tecnológicos mencionados anteriormente se tiene presente lo siguiente:

El pliego ofertado por el proveedor es de 70 cm. x 100 cm.

El formato de impresión por máquina es como sigue.

Máquina F1 (GTO): Formato 1.1: 41,0 cm. x 29,5 cm.;  $A_t = 1\ 209,5\ \text{cm}^2$ .

Formato 1.2: 43,0 cm. x 28,0 cm.;  $A_t = 1\ 204,0\ \text{cm}^2$ .

Máquina F2 (Rioby): Formato 2 : 35,0 cm. x 29,5 cm.;  $A_t = 1\ 032,5\ \text{cm}^2$ .

Máquina F3 (Sor M): Formato 3.1: 45,0 cm. x 50,0 cm.;  $A_t = 2\ 250,0\ \text{cm}^2$ .

Formato 3.2: 59,0 cm. x 29,5 cm.;  $A_t = 1\ 740,5\ \text{cm}^2$ .

En el **anexo No. 4** se presentan los cinco tipos de formatos de impresión con el esquema correspondiente a cada uno de ellos.

☞ **Coefficientes Económicos:** Representan los desperdicios de cartulina (expresados en  $\text{m}^2$ ) por variante de corte.

☞ **Términos independientes:** Representan las capacidades por tipo de máquina (máxima y mínima) en dependencia de las características del trabajo que se realice y disponibilidad de materia prima.

A partir de estudios realizados en la empresa de medición del trabajo se plantea lo siguiente para un horario de ocho horas de trabajo:

Máquinas	Situación	Dirección	Capacidad Máquinas
F1 GTO	Tiro de 1 color	$\geq$	7000
		$\leq$	20000
	Tiro de 2 colores	$\geq$	5000
		$\leq$	15000
	Tiro de 3 colores	$\geq$	5000
		$\leq$	10000
	Tiro de 4 colores	$\geq$	3000
		$\leq$	8000
	Retiro de 1 color	$\geq$	7500
		$\leq$	15000

F2 Rioby	Tiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	15000
	Tiro de 2 colores	$\geq$	5000
		$\leq$	7500
	Retiro de 1 color	$\geq$	7500
		$\leq$	10000
F3 Sor M	Tiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	10000
	Tiro de 2 colores	$\leq$	3000
		$\geq$	5000
	Retiro de 1 color	$\geq$	7000
		$\leq$	9000

**Tabla 2.3:** Términos independientes cuando se está utilizando una sola máquina de impresión.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Máquinas	Situación	Dirección	Capacidad Máquinas
F1 GTO	Tiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	20000
	Tiro de 2 colores	$\geq$	3000
		$\leq$	15000
	Tiro de 3 colores	$\geq$	3000
		$\leq$	10000
	Tiro de 4 colores	$\geq$	3000
		$\leq$	8000
	Retiro de 1 color	$\geq$	7500
		$\leq$	15000
F2 Rioby	Tiro de 1 color	$\geq$	3000
		$\leq$	15000
	Tiro de 2 colores	$\geq$	3000
		$\leq$	7500
	Retiro de 1 color	$\geq$	7500
		$\leq$	10000
F3 Sor M	Tiro de 1 color	$\geq$	3000
		$\leq$	10000
	Tiro de 2 colores	$\leq$	3000
		$\geq$	5000
	Retiro de 1 color	$\geq$	7000
		$\leq$	9000

**Tabla 2.4:** Términos independientes cuando se están utilizando dos máquina de impresión.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Máquinas	Situación	Dirección	Capacidad Máquinas
F1 GTO	Tiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	20000
	Tiro de 2 colores	$\geq$	3000
		$\leq$	15000
	Tiro de 3 colores	$\geq$	2500
		$\leq$	10000
	Tiro de 4 colores	$\geq$	2000
		$\leq$	8000
	Retiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	15000
F2 Rioby	Tiro de 1 color	$\geq$	2500
		$\leq$	15000
	Tiro de 2 colores	$\geq$	2500
		$\leq$	7500
	Retiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	10000
F3 Sor M	Tiro de 1 color	$\geq$	2500
		$\leq$	10000
	Tiro de 2 colores	$\leq$	2500
		$\geq$	5000
	Retiro de 1 color	$\geq$	5000
		$\leq$	9000

**Tabla 2.5:** Términos independientes cuando se está utilizando tres máquina de impresión.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Para definir las variantes de corte a considerar en la modelación matemática de la situación, se tiene en cuenta la información obtenida en la empresa acerca de la forma utilizada por el departamento de producción para ejecutar el proceso en la guillotina. Otras variantes de corte también considerada en el modelo fueron establecidas por el autor del trabajo a partir de un análisis coherente de combinaciones posibles de formatos. Fueron consideradas en general 32 variantes de corte. Ver **anexo No. 5**.

Para obtener las combinaciones de tipos de formatos a cortar se tiene presente la fórmula que se plantea a continuación:

$$C_m^n = \frac{n!}{(n-m)!m!}$$

Observación: Para identificar las combinaciones de formatos que aparecen a continuación se ha utilizado la letra "F" seguida de un número que diferencia los mismos.

Para  $n = 5$ ;  $m = 1$ :

$$C_1^5 = \frac{5!}{(5-1)!1!} = 5$$

F1.1 – F1.1; F1.2 – F1.2; F2 – F2; F3.1 – F3.1; F3.2 – F3.2.

Para  $n = 5$ ;  $m = 2$ :

$$C_2^5 = \frac{5!}{(5-2)!2!} = 10$$

**F1.1 – F1.2**; F1.1 – F2; F1.1 – F3.1; F1.1 – F3.2; F1.2 – F2; F1.2 – F3.1; F1.2 – F3.2; F2 – F3.1; F2 – F3.2; **F3.1 – F3.2.**

Para  $n = 5$ ;  $m = 3$ :

$$C_3^5 = \frac{5!}{(5-3)!3!} = 10$$

**F1.1 – F1.2 – F2**; **F1.1 – F1.2 – F3.1**; **F1.1 – F1.2 – F3.2**; **F1.1 – F3.1 – F3.2**; F1.1

– F2 – F3.1; F1.1 – F2 – F3.2; F1.2 – F2 – F3.1; F1.2 – F2 – F3.2;

**F1.2 – F3.1 – F3.2**; **F2 – F3.1 – F3.2.**

Para  $n = 5$ ;  $m = 4$ :

$$C_4^5 = \frac{5!}{(5-4)!4!} = 5$$

**F1.1 – F1.2 – F2 – F3.1**; **F1.1 – F1.2 – F2 – F3.2**; **F1.1 – F1.2 – F3.1 – F3.2**; F1.1

– **F2 – F3.1 – F3.2**; **F1.2 – F2 – F3.1 – F3.2.**

Para  $n = 5$ ;  $m = 5$ :

$$C_5^5 = \frac{!5}{!5(5) !5} = 1$$

**F1.1 – F1.2 – F2 – F3.1– F3.2.**

Las variantes de corte que aparecen en **negrita** no se tendrán en consideración debido a que estas son combinaciones que representan al mismo tipo de máquina, formatos mutuamente excluyentes, es decir, cuando se está imprimiendo uno de ellos no se podrá imprimir otro.

Ahora se presenta la forma general del modelo a utilizar para modelar matemáticamente cada situación analizada en el estudio realizado. En este caso solo se tiene en cuenta un tipo de materia prima que es el que recibe la empresa en la actualidad.

$$\text{MIN DT} = \sum_{j=1}^n d_j x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} x_j \geq Cp_i$$

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} x_j \leq CP_i$$

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq Q_t \quad ; \quad t = 1, \dots, r \quad ; \quad x_j \geq x_0 \quad ; \quad x_j \in Z. \quad ; \quad i = 1, \dots, m$$

Donde:

DT: Desperdicio total de cartulina.

n: Cantidad de variantes de corte.

d<sub>j</sub>: Desperdicio de cartulina según la variante j.

x<sub>j</sub>: Cantidad de lotes a cortar según la variante de corte j.

i: Índice del tipo de formato. i = 1;...; m.

f<sub>ij</sub>: Cantidad de formatos tipo i que se obtienen al aplicar la variante de corte j.

$C_{pi}$ : Capacidad mínima de impresión de formatos tipo i.

$CP_i$ : Capacidad máxima de impresión de formatos tipo i.

m: Cantidad de tipos de formatos.

$n_t$ : Cantidad de variantes de corte para la materia prima t.

j: Índice de variante de corte ( $j = 1 ; \dots ; n$ ).

$x_{jt}$ : Cantidad de materia prima tipo t a cortar según la variante de corte j.

$Q_t$ : Cantidad de materia prima tipo t.

$A_t$ : Área Total.

A partir de la expresión general planteada anteriormente, fueron modeladas las 17 situaciones que podían presentarse.

También aquí para contemplar la posibilidad de combinaciones de máquinas impresoras trabajando se tiene presente la formula:

$$C_m^n = \frac{h}{(h - )!}$$

A continuación se presentan los diferentes modelos:

1. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F1 (GTO), formato 1.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	54,05	84,2875		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>		<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	$\geq$	0
Tiro de 1 color	F1.1	1000	750	$\geq$	7000
				$\leq$	20000
Tiro de 2 colores				$\geq$	5000
				$\leq$	15000
Tiro de 3 colores				$\geq$	5000
				$\leq$	10000
Tiro de 4 colores				$\geq$	3000
				$\leq$	8000
Retiro de 1 color				$\geq$	7500
				$\leq$	15000

**Tabla 2.6:** Modelo matemático para la máquina GTO formato 1.1.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

2. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F2 (Rioby), formato 2 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	20,125	45,9375		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>		<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>5</sub></b>	<b>X<sub>6</sub></b>		
				≥	0
Tiro de 1 color	F2	1500	1250	≥	5000
				≤	15000
≥				5000	
≤				7500	
Tiro de 2 colores				≥	7500
≤				10000	
Retiro de 1 color				≥	7500
				≤	10000

**Tabla 2.7:** Modelo matemático para la máquina Rioby formato 2.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

3. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	62,50	118,75		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>		<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>7</sub></b>	<b>X<sub>8</sub></b>		
				≥	0
Tiro de 1 color	F3.1	500	250	≥	5000
				≤	10000
≥				3000	
≤				5000	
Tiro de 2 colores				≥	7000
≤				9000	
Retiro de 1 color				≥	7000
				≤	9000

**Tabla 2.8:** Modelo matemático para la máquina Sor M formato 3.1.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

4. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1 y F2 (Rioby), formato 2 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	11,275	32,6625	37,0875		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>			<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>11</sub></b>	<b>X<sub>12</sub></b>	<b>X<sub>13</sub></b>		
Tiro de 1 color	F1.1	500	750	500	≥	0
					≥	5000
	F2	1000	500	750	≤	20000
					≥	3000
Tiro de 2 colores	F1.1	500	750	500	≤	15000
					≥	3000
	F2	1000	500	750	≤	7500
					≥	3000
Retiro de 1 color	F1.1	500	750	500	≥	7500
					≤	15000
	F2	1000	500	750	≥	7500
					≤	10000

**Tabla 2.9:** Modelo matemático para la máquina GTO y Rioby formato 1.1 y 2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

5. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	58,275		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>	<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>14</sub></b>		
Tiro de 1 color	F1.1	500	≥	0
			≥	5000
	F3.1	250	≤	20000
			≥	3000
			≤	10000

Tiro de 2 colores	F1.1	500	$\geq$	3000
			$\leq$	15000
	F3.1	250	$\geq$	3000
			$\leq$	5000
Retiro de 1 color	F1.1	500	$\geq$	7500
			$\leq$	15000
	F3.1	250	$\geq$	7000
			$\leq$	9000

**Tabla 2.10:** Modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.1 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

6. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F2 (Rioby), formato 2 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	67,125		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>	<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
				$X_{23}$
Tiro de 1 color	F2	500	$\geq$	3000
			$\leq$	15000
	F3.1	250	$\geq$	3000
			$\leq$	10000
Tiro de 2 colores	F2	500	$\geq$	3000
			$\leq$	7500
	F3.1	250	$\geq$	3000
			$\leq$	5000
Retiro de 1 color	F2	500	$\geq$	7500
			$\leq$	10000
	F3.1	250	$\geq$	7000
			$\leq$	9000

**Tabla 2.11:** Modelo matemático para la máquina Rioby y Sor M formato 2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

7. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1, F2 (Rioby), formato 2 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	62,70		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>	<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		$X_{26}$	$\geq$	0
Tiro de 1 color	F1.1	250	$\geq$	5000
			$\leq$	20000
	F2	250	$\geq$	2500
			$\leq$	15000
	F3.1	250	$\geq$	2500
			$\leq$	10000
Tiro de 2 colores	F1.1	250	$\geq$	3000
			$\leq$	15000
	F2	250	$\geq$	2500
			$\leq$	7500
	F3.1	250	$\geq$	2500
			$\leq$	5000
Retiro de 1 color	F1.1	250	$\geq$	5000
			$\leq$	15000
	F2	250	$\geq$	5000
			$\leq$	10000
	F3.1	250	$\geq$	5000
			$\leq$	9000

**Tabla 2.12:** Modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.1, 2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

8. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones:

Función Objetivo	MinDT	44,4625	87,975		
Situación	Formato	Variantes de Cortes		Dirección	Capacidad Máquinas
		X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>		
				≥	0
Tiro de 1 color	F3.2	750	500	≥	5000
				≤	10000
≥				3000	
≤				5000	
Tiro de 2 colores				≥	7000
Retiro de 1 color				≤	9000

**Tabla 2.13:** Modelo matemático para la máquina Sor M formato 3.2.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

9. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones:

Función Objetivo	MinDT	27,50	40,775		
Situación	Formato	Variantes de Cortes		Dirección	Capacidad Máquinas
		X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>		
				≥	0
Tiro de 1 color	F1.1	500	750	≥	5000
				≤	20000
	F3.2	500	250	≥	3000
				≤	10000
Tiro de 2 colores	F1.1	500	750	≥	3000
				≤	15000
	F3.2	500	250	≥	3000
				≤	5000
Retiro de 1 color	F1.1	500	750	≥	7500
				≤	15000
	F3.2	500	250	≥	7000
				≤	9000

**Tabla 2.14:** Modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.1 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

10. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F2 (Rioby), formato 2 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	36,35	28,2375			
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>			<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>24</sub></b>	<b>X<sub>25</sub></b>			
Tiro de 1 color	F2	500	1000	≥	0	
				≤	3000	
	F3.2	500	250	≥	15000	
				≤	3000	
Tiro de 2 colores	F2	500	1000	≥	3000	
				≤	7500	
	F3.2	500	250	≥	3000	
				≤	10000	
Retiro de 1 color	F2	500	1000	≥	7500	
				≤	10000	
	F3.2	500	250	≥	7000	
				≤	9000	

**Tabla 2.15:** Modelo matemático para la máquina Rioby y Sor M formato 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

11. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1, F2 (Rioby), formato 2 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	23,8125	19,3875	31,925		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>			<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>27</sub></b>	<b>X<sub>28</sub></b>	<b>X<sub>29</sub></b>		
Tiro de 1 color	F1.1	250	500	250	≥	0
					≤	5000
	F2	750	500	250	≥	20000
					≤	2500
					15000	

	F3.2	250	250	500	$\geq$	2500
					$\leq$	10000
Tiro de 2 colores	F1.1	250	500	250	$\geq$	3000
					$\leq$	15000
	F2	750	500	250	$\geq$	2500
					$\leq$	7500
	F3.2	250	250	500	$\geq$	2500
					$\leq$	5000
Retiro de 1 color	F1.1	250	500	250	$\geq$	5000
					$\leq$	15000
	F2	750	500	250	$\geq$	5000
					$\leq$	10000
	F3.2	250	250	500	$\geq$	5000
					$\leq$	9000

**Tabla 2.16:** Modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.1, 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

12. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F1 (GTO), formato 1.2, y que se presenten las siguientes situaciones:

Función Objetivo	MinDT	54,60	84,70		
Situación	Formato	Variantes de Cortes		Dirección	Capacidad Máquinas
		X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		
				$\geq$	0
Tiro de 1 color	F1.2	1000	750	$\geq$	7000
				$\leq$	20000
Tiro de 2 colores				$\geq$	5000
				$\leq$	15000
Tiro de 3 colores				$\geq$	5000
				$\leq$	10000
Tiro de 4 colores				$\geq$	3000
				$\leq$	8000
Retiro de 1 color				$\geq$	7500
				$\leq$	15000

**Tabla 2.17:** Modelo matemático para la máquina GTO formato 1.2.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

13. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2 y F2 (Rioby), formato 2 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	37,3625	58,8875	63,175		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>			<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>17</sub></b>	<b>X<sub>18</sub></b>	<b>X<sub>19</sub></b>		
Tiro de 1 color	F1.2	500	750	500	≥	0
					≥	5000
	F2	750	250	500	≤	20000
					≥	3000
Tiro de 2 colores	F1.2	500	750	500	≤	15000
					≥	3000
	F2	750	250	500	≤	7500
					≥	3000
Retiro de 1 color	F1.2	500	750	500	≥	7500
					≤	15000
	F2	750	250	500	≥	7500
					≤	10000

**Tabla 2.18:** Modelo matemático para la máquina GTO y Rioby formato 1.2 y 2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

14. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	58,55		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>	<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>20</sub></b>		
Tiro de 1 color	F1.2	500	≥	0
			≥	5000
	F3.1	250	≤	20000
			≥	3000
			≤	10000

Tiro de 2 colores	F1.2	500	$\geq$	3000
			$\leq$	15000
	F3.1	250	$\geq$	3000
			$\leq$	5000
Retiro de 1 color	F1.2	500	$\geq$	7500
			$\leq$	15000
	F3.1	250	$\geq$	7000
			$\leq$	9000

**Tabla 2.19:** Modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

15. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2, F2 (Rioby), formato 2 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	62,8375		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>	<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
			$X_{30}$	
Tiro de 1 color	F1.2	250	$\geq$	0
			$\leq$	5000
	F2	250	$\geq$	20000
			$\leq$	2500
	F3.1	250	$\geq$	15000
			$\leq$	2500
Tiro de 2 colores	F1.2	250	$\geq$	10000
			$\leq$	3000
	F2	250	$\geq$	15000
			$\leq$	2500
	F3.1	250	$\geq$	7500
			$\leq$	2500
Retiro de 1 color	F1.2	250	$\geq$	5000
			$\leq$	15000
	F2	250	$\geq$	5000
			$\leq$	10000
	F3.1	250	$\geq$	5000
			$\leq$	9000

**Tabla 2.20:** Modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.2, 2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

16. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	57,875	71,2875		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>		<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>21</sub></b>	<b>X<sub>22</sub></b>		
Tiro de 1 color	F1.2	250	500	$\geq$	5000
				$\leq$	20000
	F3.2	500	250	$\geq$	3000
				$\leq$	10000
Tiro de 2 colores	F1.2	250	500	$\geq$	3000
				$\leq$	15000
	F3.2	500	250	$\geq$	3000
				$\leq$	5000
Retiro de 1 color	F1.2	250	500	$\geq$	7500
				$\leq$	15000
	F3.2	500	250	$\geq$	7000
				$\leq$	9000

**Tabla 2.21:** Modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

17. Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2, F2 (Rioby), formato 2 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones:

Función Objetivo	MinDT	45,475	49,7625		
Situación	Formato	Variantes de Cortes		Dirección	Capacidad Máquinas
		X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>		
Tiro de 1 color	F1.2	500	250	≥	0
				≤	5000
	F2	250	500	≥	20000
				≤	2500
	F3.2	250	250	≥	15000
				≤	2500
Tiro de 2 colores	F1.2	500	250	≥	2500
				≤	10000
	F2	250	500	≥	3000
				≤	15000
	F3.2	250	250	≥	2500
				≤	7500
Retiro de 1 color	F1.2	500	250	≥	2500
				≤	5000
	F2	250	500	≥	15000
				≤	5000
	F3.2	250	250	≥	10000
				≤	5000
				≥	9000

**Tabla 2.22:** Modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.2, 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

Los demás tipos de combinaciones entre las máquinas (Tiro de 3 colores y Tiro de 4 colores) no se pueden hacer debido a que mecánicamente las máquinas F3 (Sor M) y F2 (Rioby) no están diseñadas para este tipo de trabajo.

### 2.3.1 Método matemático de corte aplicado a la producción más limpia.

Se ha estimado, de una manera general, que si un país subdesarrollado utilizase los métodos de la programación lineal, su producto interno bruto (PIB) aumentaría entre un 10 y un 15 % en tan sólo un año (Cortes y otros, 2007).

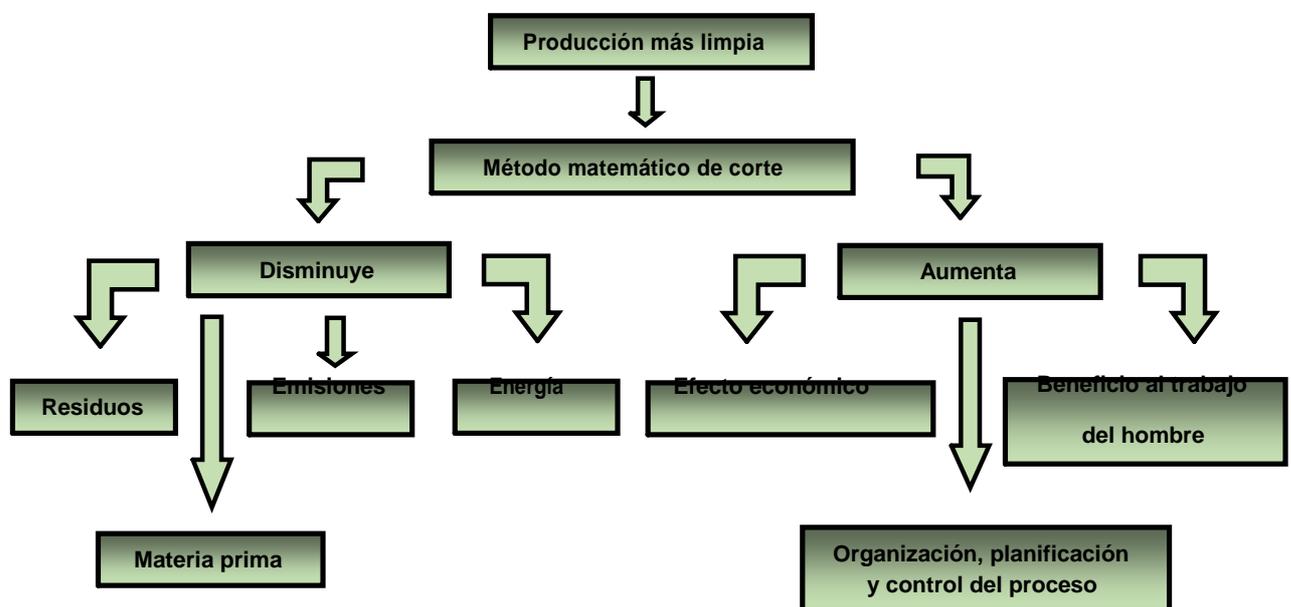
Uno de los problemas que resuelve la modelación matemática utilizando la programación lineal es el corte de materiales, lo cual trae consigo los siguientes beneficios a la Empresa Gráfica Cienfuegos:

1. Beneficio en la disminución de residuos: Podemos decir que utilizando la variante óptima de corte se puede estimar una disminución anual de los desechos de cartulina en 20 t, disminuyendo consigo el impacto ambiental que provoca al medio.
2. Beneficio en el consumo de materia prima: A través de la modelación matemática se puede estimar un ahorro anual equivalente a 15 t de cartulina.
3. Beneficio económico: Teniendo presente que el precio de la cartulina es de 2 418,54 pesos en moneda total, con un beneficio de 20 t en la disminución de los residuos y 15 t en el consumo de materia prima, podemos decir que la empresa ahorra anualmente 84 648,90 pesos en moneda total o lo que es lo mismo 35 t de cartulina, favoreciendo significativamente los indicadores económicos de la misma.
4. Beneficio en el consumo de energía: Una vez optimizado el proceso de corte se reduce el consumo de energía, pues la cantidad de materia prima a cortar es menor por lo que disminuye el tiempo de trabajo en la guillotina.
5. Beneficios en la organización, planificación y control del proceso: Mediante estos elementos, la empresa cuenta con la correspondiente fundamentación matemática, que influye significativamente en la toma de decisiones para ejecutar el corte en la guillotina satisfaciendo los requerimientos productivos, lo que permite con antelación conocer la cantidad de materia prima a utilizar y los desperdicios a generar, teniendo mayor control sobre los recursos, para evitar cualquier hecho de corrupción e ilegalidad.
6. Beneficios al capital humano: Se aumenta la productividad del hombre en la guillotina, haciendo su trabajo más humano o factible ya que al estar

organizado se puede cortar más cantidad de formatos, en un mismo tiempo, revirtiéndose esto en su sistema de pago. El obrero está menos expuesto al riesgo de inhalación al polvo que produce la cartulina al ser cortada.

7. Beneficio en la disminución de las emisiones al medio: Al ejecutar menos veces el corte en los pliegos de cartulina se disminuyen las emisiones de polvillo a la atmosfera mitigando su efecto al medio.

Lo anteriormente expuesto se pone de manifiesto en el siguiente gráfico:



**Gráfico 2.0:** La producción más limpia aplicada al método matemático de corte.

**Fuente:** Elaboración propia.

### Conclusiones del Capítulo 2.

Se puede concluir este capítulo haciendo referencia a los siguientes aspectos:

- 1 Actualmente en la empresa no existe un procedimiento para la optimización del corte, lo que causa pérdidas por 4,28 t de materia prima.

- 2 Se presenta una propuesta del modelo general aplicado al corte de materiales utilizado por Cortés y colaboradores, para ser adaptado al corte de cartulina en la empresa.
- 3 Se propone un modelo particular combinando las variantes de corte entre los diferentes formatos y maquinas.

Están creadas las condiciones para que en el próximo capítulo se realice el análisis de los resultados obtenidos en este.

### *CAPÍTULO III*

### Capítulo 3: Análisis de los resultados.

En este capítulo se procesan los modelos mediante el paquete profesional WinQSB, se interpretan los resultados obtenidos, y se valoran variantes de mejora económica, se compara la forma tradicional de realizar el corte con la propuesta en este trabajo. Por último se realiza una propuesta de estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo en la empresa.

#### 3.1- Resultados obtenidos en la interpretación de los modelos.

Los modelos fueron procesados a través del paquete de programas tratado en el capítulo uno, los resultados de este procesamiento se presentan a continuación, ofreciendo la interpretación económica de la solución óptima para cada situación. Primeramente aparece la variable utilizada en el modelo para el caso en análisis, después el valor de la misma en la solución óptima y por último la descripción literal de la interpretación de dicho valor. También se realiza un comentario sobre la cantidad de formatos que se obtienen en general y el desperdicio correspondiente a dicha producción.

1. En este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F1 (GTO), formato 1.1: Ver **anexo No. 6.**

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 1	7	54,05	378,35	Cortar 7 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm, según la variante de corte N° 1. Se obtienen 7 000 formatos 1.1 con un desperdicio mínimo de materia prima de 378,35 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 378,35					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 1	5	54,05	270,25	Cortar 5 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 1. Se obtienen 5 000 formatos 1.1 con un desperdicio mínimo de materia prima de 270,25 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 270,25					

Tiro de tres colores.	Variante de Corte # 1	5	54,05	270,25	Cortar 5 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 1. Se obtienen 5 000 formatos 1.1 con un desperdicio mínimo de materia prima de 270,25 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 270,25					
Tiro de cuatro colores.	Variante de Corte # 1	3	54,05	162,15	Cortar 3 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 1. Se obtienen 3 000 formatos 1.1 con un desperdicio mínimo de materia prima de 162,15 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 162,15					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 1	8	54,05	432,40	Cortar 8 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°1. Se obtienen 8 000 formatos 1.1 con un desperdicio mínimo de materia prima de 432,40 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 432,40					

**Tabla 3.0:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO formato 1.1.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

- En este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F2 (Rioby) y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 5	4	20,12	80,50	Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 5. Se obtienen 6 000 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 80,50 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 80,50					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 5	4	20,12	80,50	Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 5. Se obtienen 6 000 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 80,50 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 80,50					

Retiro de un color.	Variante de Corte # 5	5	20,12	100,62	Cortar 5 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 5. Se obtienen 7 500 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 100,62 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 100,62					

**Tabla 3.1:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina Rioby formato 2.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

3. En este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6.**

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 7	10	62,50	375,00	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 7. Se obtienen 5 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 375,00 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 375,00					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 7	6	62,50	875,00	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 7. Se obtienen 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 875,0000 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 875,00					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 7	14	62,50	112,75	Cortar 14 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 7. Se obtienen 7 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 112,75 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 112,75					

**Tabla 3.2:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina Sor M formato 3.1.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

4. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1 y F2 (Rioby) y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 11	10	11,275	11,27	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 11. Se obtienen 5 000 formatos 1.1 y 10 000 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 112,75 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 112,75					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 11	6	11,275	67,65	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 11. Se obtienen 3 000 formatos 1.1 y 6 000 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 67,65 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 67,65					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 11	6	11,275	67,65	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 11.
	Variante de Corte # 12	6	32,662	195,97	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 12. Se obtienen 7 500 formatos 1.1 y 9 000 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 263,62 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 263,62					

**Tabla 3.3:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Rioby formato 1.1 y 2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

5. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 14	12	58,275	699,30	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 14. Se obtienen 6 000 formatos 1.1 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 699,30 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 699,30					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 14	12	58,275	699,30	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 14. Se obtienen 6 000 formatos 1.1 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 699,30 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 699,30					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 14	28	58,275	1 631,70	Cortar 28 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 14. Se obtienen 14 000 formatos 1.1 y 7 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 631,70 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 1 631,70					

**Tabla 3.4:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.1 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

6. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F2 (Rioby) y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 23	12	67,125	805,50	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 23. Se obtienen 6 000 formatos 2 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia

					prima de 805,50 m <sup>2</sup> .
	Función objetivo Min. DT = 805,50				
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 23	12	67,125	805,50	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 23. Se obtienen 6 000 formatos 2 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 805,50 m <sup>2</sup> .
	Función objetivo Min. DT = 805,50				
Retiro de un color.	No es posible tener presente los requisitos exigidos en las restricciones del modelo 6.3.				

**Tabla 3.5:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina Rioby y Sor M formato 2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

7. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1, F2 (Rioby) y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 26	20	62,70	1 254,00	Cortar 20 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 26. Se obtienen 5 000 formatos 1.1; 5 000 formatos 2 y 5 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 254,00 m <sup>2</sup> .
	Función objetivo Min. DT = 1 254,00				
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 26	12	62,70	752,40	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 26. Se obtienen 3 000 formatos 1.1; 3 000 formatos 2 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 752,40 m <sup>2</sup> .
	Función objetivo Min. DT = 752,40				

Retiro de un color.	Variante de Corte # 26	20	62,70	1 254,00	Cortar 20 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 26. Se obtienen 5 000 formatos 1.1; 5 000 formatos 2 y 5 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 254,00 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 1 254,00					

**Tabla 3.6:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.1, 2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

8. En este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6.**

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 9	7	44,462	311,23	Cortar 7 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 9. Se obtienen 5 250 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 311,23 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 311,23					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 9	4	44,462	177,85	Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 9. Se obtienen 3 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 177,85 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 177,85					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 9	10	44,462	444,62	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 9. Se obtienen 7 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 444,62 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 444,62					

**Tabla 3.7:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina Sor M formato 3.2.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

9. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 15	4	27,50	110,00	Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°15. Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°16. Se obtienen 5 000 formatos 1.1 y 3 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 273,10 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 16	4	40,77	163,10	
Función objetivo Min. DT = 273,10					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 15	6	27,50	165,00	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°15. Se obtienen 3 000 formatos 1.1 y 3 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 165,00 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 165,00					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 15	15	27,50	412,50	Cortar 15 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°15. Se obtienen 7 500 formatos 1.1 y 7 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 412,50 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 412,50					

**Tabla 3.8:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.1 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

10. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F2 (Rioby) y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 24	6	36,35	218,10	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°24. Se obtienen 3 000 formatos 2 y 3 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 218,10 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 218,10					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 24	6	36,35	218,10	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°24. Se obtienen 3 000 formatos 2 y 3 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 218,10 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 218,10					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 24	13	36,35	472,55	Cortar 13 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°24. Cortar 2 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°25. Se obtienen 8 500 formatos 2 y 7 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 529,02 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 25	2	28,23	56,47	
Función objetivo Min. DT = 529,02					

**Tabla 3.9:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina Rioby y Sor M formato 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

11. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.1, F2 (Rioby) y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 28	10	19,38	193,87	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°28. Se obtienen 5 000 formatos 1.1; 5 000 formatos 2 y 2 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 193,87 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 193,87					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 28	6	19,38	116,32	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°28. Cortar 2 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°29. Se obtienen 3 500 formatos 1.1; 3 500 formatos 2 y 2 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 180,17 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 29	2	31,92	63,85	
Función objetivo Min. DT = 180,17					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 28	8	19,38	155,10	Cortar 8 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 28. Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 29. Se obtienen 5 500 formatos 1.1; 5 500 formatos 2 y 5 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 346,65 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 29	6	12,77	191,55	
Función objetivo Min. DT = 346,65					

**Tabla 3.10:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina Rioby y Sor M formato 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

12. En este modelo se tiene en cuenta que esté funcionando solo la máquina F1 (GTO), formato 1.2, y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6.**

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 3	7	54,60	382,20	Cortar 7 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm, según la variante de corte N°3. Se obtienen 7 000 formatos 1.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 382.20 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 382.20					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 3	5	54,60	273,00	Cortar 5 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°3. Se obtienen 5 000 formatos 1.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 273,00 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 273,00					
Tiro de tres colores.	Variante de Corte # 3	5	54,60	273,00	Cortar 5 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°3. Se obtienen 5 000 formatos 1.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 273,00 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 273,00					
Tiro de cuatro colores.	Variante de Corte # 3	3	54,60	163,80	Cortar 3 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°3. Se obtienen 3 000 formatos 1.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 163,80 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 163,80					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 3	8	54,60	436,80	Cortar 8 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°3. Se obtienen 8 000 formatos 1.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 436,80 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 436,80					

**Tabla 3.11:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO formato 1.2.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

13. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2 y F2 (Rioby) y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 17	10	37,36	373,62	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°17. Se obtienen 5 000 formatos 1.2 y 7 500 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 373,62 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 373,62					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 17	6	37,36	224,17	Cortar 6 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 17. Se obtienen 3 000 formatos 1.2 y 4 500 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 224,17 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 224,17					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 17	12	37,36	448,35	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 17. Cortar 2 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 18. Se obtienen 7 500 formatos 1.2 y 9 500 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 566,12 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 18	2	58,88	117,77	
Función objetivo Min. DT = 566,12					

**Tabla 3.12:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Rioby formato 1.2 y 2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

14. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2 y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 20	12	58,55	702,60	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 20. Se obtienen 6 000 formatos 1.2 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 702,60 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 702,60					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 20	12	58,55	702,60	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 20. Se obtienen 6 000 formatos 1.2 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 702,60 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 702,60					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 20	28	58,55	1 639,40	Cortar 28 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 20. Se obtienen 14 000 formatos 1.2 y 7 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 639,40 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 1 639,40					

**Tabla 3.13:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

15. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2, F2 (Rioby) y F3 (Sor M), formato 3.1 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 30	20	62,83	1 256,75	Cortar 20 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°30. Se obtienen 5 000 formatos 1.2; 5 000 formatos 2 y 5000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 256,75 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 1 256,75					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 30	12	62,83	754,05	Cortar 12 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°30. Se obtienen 3 000 formatos 1.2; 3 000 formatos 2 y 3 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 754,05 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 754,05					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 30	20	62,83	1 256,75	Cortar 20 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°30. Se obtienen 5 000 formatos 1.2; 5 000 formatos 2 y 5 000 formatos 3.1, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 256,75 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 1 256,75					

**Tabla 3.14:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.2, 2 y 3.1 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

16. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2 y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 21	2	57,87	115,75	Cortar 2 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°21. Cortar 9 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°22. Se obtienen 5 000 formatos 1.2 y 3 250 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 757,33 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 22	9	71,28	641,58	
Función objetivo Min. DT = 757,33					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 21	4	57,87	231,50	Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°21. Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°22. Se obtienen 3 000 formatos 1.2 y 3 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 516,65 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 22	4	71,28	285,15	
Función objetivo Min. DT = 516,65					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 21	10	57,87	578,75	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°21. Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°22. Se obtienen 7 500 formatos 1.2 y 7 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 291,62 m <sup>2</sup> .
	Variante de Corte # 22	10	71,28	712,87	
Función objetivo Min. DT = 1 291,62					

**Tabla 3.15:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

17. En este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas F1 (GTO), formato 1.2, F2 (Rioby) y F3 (Sor M), formato 3.2 y que se presenten las siguientes situaciones: Ver **anexo No. 6.**

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 31	10	45,47	454,75	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 31. Se obtienen 5 000 formatos 1.2; 2 500 formatos 2 y 2 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 454,75 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 454,75					
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 31	10	45,47	454,75	Cortar 10 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 31. Se obtienen 5 000 formatos 1.2; 2 500 formatos 2 y 2 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 454,75 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 454,75					
Retiro de un color.	Variante de Corte # 31	20	45,47	909,50	Cortar 20 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 31. Se obtienen 10 000 formatos 1.2; 5 000 formatos 2 y 5 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 909,50 m <sup>2</sup> .
Función objetivo Min. DT = 909,50					

**Tabla 3.16:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.2, 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

### 3.2 Valoración económica de la utilización de los modelos y su comparación con la forma tradicional de realizar este trabajo en la empresa.

En el capítulo 2 se habló del desperdicio que tuvo la empresa en los días en que se realizó el corte de cartulina durante el período octubre-diciembre de 2013, al ejecutar el plan de producción correspondiente a la etapa. Para validar los resultados de este trabajo y de hecho confirmar la idea defendida fueron seleccionados los siguientes días (la selección de los mismos se basó,

fundamentalmente, que estos se cortaron en distintos formatos para diferentes máquinas haciendo más interesante la comparación).

🕒 Día 28 de octubre de 2013

La empresa utilizó las variantes de corte 1 y 9 produciendo 22 000 formatos 1.1 y 19 500 formatos 3.2, se tuvo en cuenta el tipo de cartulina, la cantidad de colores que tenía el trabajo y si la impresión era tiro o retiro. La empresa obtuvo un desperdicio de 0,30 toneladas (t) del formato 1.1 y 0,29 t del formato 3.2; lo cual equivale a un costo de 1 426,94 pesos en moneda total.

Ahora se ofrece el análisis de esta situación teniendo presente el modelo matemático correspondiente (según lo valorado al respecto en este trabajo).

Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas GTO, formato 1.1 y Sor M, formato 3.2:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	27,50	40,775		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>		<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>15</sub></b>	<b>X<sub>16</sub></b>	≥	0
Retiro de 1 color	F1.1	500	750	≥	22000
	F3.2	500	250	≥	19500

**Tabla 3.17:** Modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.1 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

Este modelo fue procesado computacionalmente y obtenida la solución óptima como se muestra a continuación: Ver **anexo No. 7**.

Situación	Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$	Interpretación
Retiro de un color.	Variante de Corte # 15	38	27,50	1 045,00	Cortar 38 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°15. Cortar 4 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°16.
	Variante de Corte # 16	4	40,77	163,10	Se obtienen 22 000 formatos 1.1 y 20 000 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 1 208,10 m <sup>2</sup> , lo cual equivale a 0.30 t, quedando en almacén 500 formatos 3.2.
Función objetivo Min. DT = 1 208,10					

**Tabla 3.18:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Sor M formato 1.1 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

🕒 Día 05 de diciembre de 2013

La empresa utilizó las variantes de corte 1, 5 y 9 obteniéndose 13 000 formatos 1.1, 19 500 formatos 2 y 10 500 formatos 3.2 se tuvo en cuenta el tipo de cartulina, la cantidad de colores que tenía el trabajo y si la impresión era tiro o retiro. La empresa obtuvo un desperdicio de 0,17 t del formato 1.1, 0,07 t del formato 2 y 0,16 t del formato 3.2; lo cual equivale a un costo de 967,41 pesos en moneda total.

Ahora se ofrece el análisis de esta situación teniendo presente el modelo matemático correspondiente (según lo valorado al respecto en este trabajo).

Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas GTO, formato 1.1; Rioby, formato 2 y Sor M, formato 3.2:

Función Objetivo	MinDT	23,8125	19,3875	31,925		
Situación	Formato	Variantes de Cortes			Dirección	Capacidad Máquinas
		X <sub>27</sub>	X <sub>28</sub>	X <sub>29</sub>		
Tiro de 1 color	F1.1	250	500	250	≥	13000
	F2	750	500	250	≥	19500
	F3.2	250	250	500	≥	10500

**Tabla 3.19:** Modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.1, 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

Este modelo fue procesado computacionalmente y obtenida la solución óptima como se muestra a continuación: Ver **anexo No. 7**.

Situación	Variable de decisión	Valor de x <sub>j</sub>	Valor de d <sub>ij</sub>	d <sub>ij</sub> x <sub>j</sub>	Interpretación
Tiro de un color.	Variante de Corte # 28	38	19,38	736,72	Cortar 38 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N° 28 Cortar 2 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°29. Se obtienen 19 500 formatos 1.1; 19 500 formatos 2 y 10 500 formatos 3.2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 800,57 m <sup>2</sup> , lo cual equivale a 0.20 t, quedando en almacén 6 500 formatos 1.1.
	Variante de Corte # 29	2	31,92	63,85	
Función objetivo Min. DT = 800,57					

**Tabla 3.20:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO, Rioby y Sor M formato 1.1, 2 y 3.2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

☺Día 18 de diciembre de 2013

La empresa utilizó las variantes de corte 1 y 5 obteniéndose 24 000 formatos 1.1 y 18 000 formatos 2, se tuvo en cuenta el tipo de cartulina, la cantidad de colores

que tenía el trabajo y si la impresión era tiro o retiro. La empresa obtuvo un desperdicio de 0.32 t del formato 1.1 y 0.06 t del formato 2; lo cual equivale a un costo de 919,04 pesos en moneda total.

Ahora se ofrece el análisis de esta situación teniendo presente el modelo matemático correspondiente (según lo valorado al respecto en este trabajo).

Para la construcción de este modelo se tiene en cuenta que estén funcionando las máquinas GTO, formato 1.1 y Rioby, formato 2:

<b>Función Objetivo</b>	<b>MinDT</b>	11,275	32,6625	37,0875		
<b>Situación</b>	<b>Formato</b>	<b>Variantes de Cortes</b>			<b>Dirección</b>	<b>Capacidad Máquinas</b>
		<b>X<sub>11</sub></b>	<b>X<sub>12</sub></b>	<b>X<sub>13</sub></b>		
Tiro de 2 colores	F1.1	500	750	500	≥	24000
	F2	1000	500	750	≥	18000

**Tabla 3.21:** Modelo matemático para la máquina GTO y Rioby formato 1.1 y 2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

Este modelo fue procesado computacionalmente y obtenida la solución óptima como se muestra a continuación: Ver **anexo No. 7**.

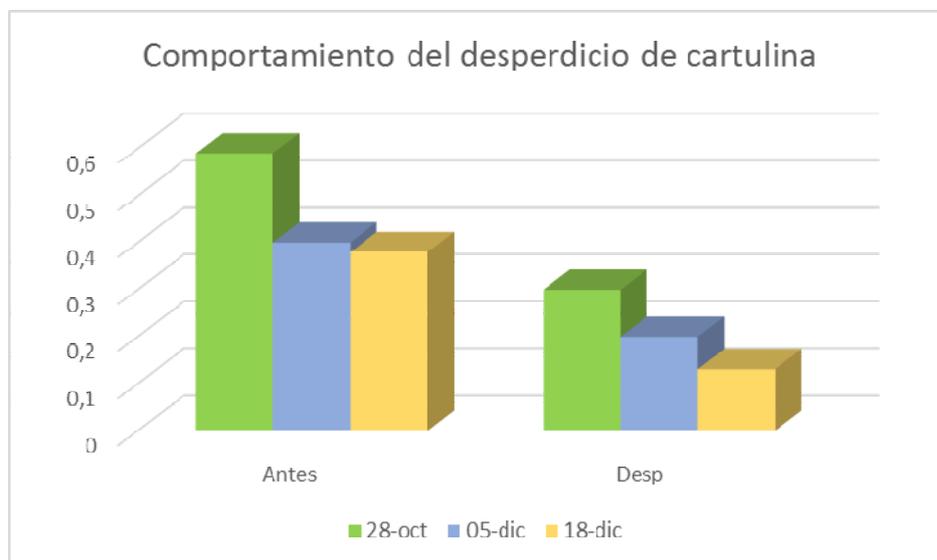
<b>Situación</b>	<b>Variable de decisión</b>	<b>Valor de x<sub>j</sub></b>	<b>Valor de d<sub>ij</sub></b>	<b>d<sub>ij</sub> x<sub>j</sub></b>	<b>Interpretación</b>
Tiro de dos colores.	Variante de Corte # 11	48	11,27	541,20	Cortar 48 paquetes de 250 pliegos de 70 cm. x 100 cm. según la variante de corte N°11 Se obtienen 24 000 formatos 1.1 y 48 000 formatos 2, con un desperdicio mínimo de materia prima de 541,20 m <sup>2</sup> , lo cual equivale a 0.13 t, quedan en almacén 30 000 formatos 2
Función objetivo Min. DT = 541,20					

**Tabla 3.22:** Solución óptima del modelo matemático para la máquina GTO y Rioby formato 1.1 y 2 respectivamente.

**Fuente:** Elaboración propia a partir del WinQSB.

🕒 Observación general para los tres días:

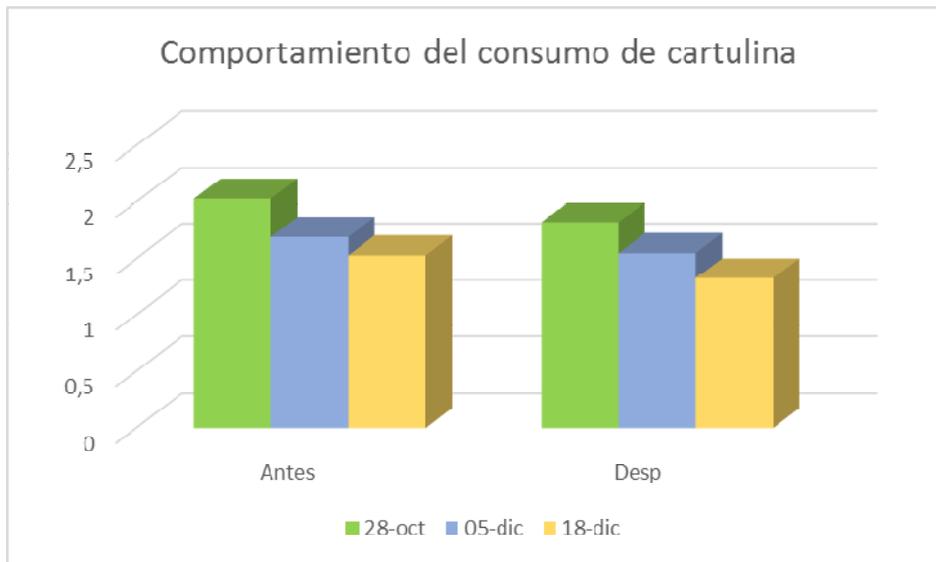
Según el análisis realizado en los tres días y después de modelar matemáticamente cada situación, procesar computacionalmente cada modelo e interpretar la solución óptima de los mismos se tiene un desperdicio total de 0,63 t de cartulina que al ser comparado con el obtenido en la etapa valorada el cual fue de 1,37 t, se obtiene un ahorro de 0,74 t que representa el 54 % del total de desperdicio generado, podemos apreciar que el mismo es significativamente menor, como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 3.0:** Comparación del desperdicio de cartulina.

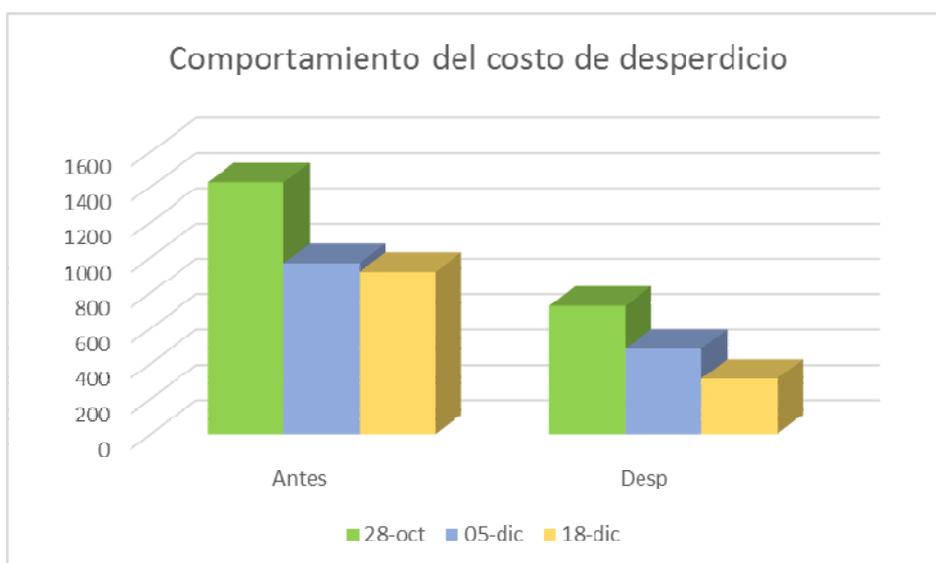
**Fuente:** Elaboración propia.

Teniendo presente la modelación matemática asociada a las técnicas de computación para los días analizado se tiene un consumo de cartulina de 4,70 t que al ser comparado con el obtenido en la etapa analizada que fue de 5,25 t lo cual genera un ahorro de materia prima de 2 200 m<sup>2</sup> equivalente a 0,55 t que representa un 10% del total del gasto de materia prima, como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 3.1:** Comparación del consumo de materia prima.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Al analizar el costo del desperdicio generado en que incurre la empresa en estos tres días analizados (3 313,39 pesos en moneda total) y compararlos con el desperdicio que se genera una vez modelado la situación (1 523,68 pesos en moneda total), podemos decir entonces que utilizando el método tratado en el trabajo la empresa ahorra (1 789,71 pesos en moneda total) que representa el 54 % del costo total de los desperdicios, como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 3.2:** Comparación del costo de los desperdicios generados.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.2.1 Propuesta de estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo.**

Para la aplicación y continuidad de este trabajo se exponen a continuación una serie de indicadores a medir por parte de la dirección del centro, con vista a lograr un mayor control de los recursos mediante la implementación del mismo:

1. Capacitar al personal (tecnólogos y jefe de producción), en lo que respecta a la utilización del programa computacional WinQSB.
2. Constar con medios informáticos para la debida instalación del software y posterior corrida de los modelos.
3. Establecer mediante un procedimiento obligatorio aprobado por la alta dirección del centro el uso de este método matemático para el control del proceso.
4. Agregar este procedimiento al manual de gestión ambiental del Sistema Integrado de Gestión implantado en la empresa, de esta forma queda establecido su uso obligatorio.
5. Ejercer control de este procedimiento mediante auditorías internas al sistema.

Durante la realización de este trabajo ya se han tomado algunas de estas medidas por el departamento de producción del centro.

### **Conclusiones del capítulo 3.**

Podemos concluir este capítulo diciendo que:

1. Después de procesados los modelos en el paquete de programa computacional correspondiente e interpretadas las soluciones aparece una fundamentación para establecer los planes de corte de los formatos para pliegos de cartulina de 70 cm. x 100 cm. con un criterio óptimo de minimizar los desperdicios.

2. Teniendo en cuenta el análisis realizado para estos tres días de planes de corte ejecutados en la entidad, se pudo notar la positiva influencia económica de utilizar la modelación matemática asociada a la computación en la programación del proceso de corte.
3. Se crea una estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo en el centro.

Lo analizado finalmente en este capítulo permite llegar a las conclusiones y recomendaciones que se presentarán posteriormente.

*CONCLUSIONES*

---

## Conclusiones

Teniendo en consideración el análisis realizado en este trabajo se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. La producción más limpia utilizando los métodos matemáticos de corte trae consigo una disminución del consumo de materias primas, energía, residuos y emisiones de polvo a la atmosfera.
2. La producción más limpia utilizando los métodos matemáticos de corte logra un aumento en la eficiencia económica de la empresa, humanizando el trabajo en la guillotina y mejorando la organización, planificación y control de los procesos.
3. Se propone el modelo matemático utilizado por Cortés y colaboradores para optimizar el corte de piezas bidimensionales, presentándose en el cuerpo del trabajo las adaptaciones necesarias para aplicar el mismo en la empresa.
4. Se valoran los resultados del modelo de corte, desde el punto de vista de la producción más limpia; este constituye una vía necesaria para el perfeccionamiento de los procesos de corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos.
5. Se caracteriza el método de corte existente en la empresa, demostrando que actualmente existen pérdidas de 0,74 t de cartulina que equivale a 1 789,71 pesos en moneda total.
6. El impacto económico de este modelo en tres días de estudio, arrojó un ahorro de 0,55 t de cartulina, lo que para el 2014 significaría una disminución considerable en el consumo de materia prima.
7. Se propone una estrategia para la aplicación y continuidad de este trabajo en la empresa, mejorando el control sobre los recursos.
8. El análisis realizado para los pliegos de 70 cm. x 100 cm. puede ser extendido a materias primas de otras longitudes en función de valorar la posibilidad que la empresa convenie con el proveedor adquisiciones de

## *Conclusiones*

---



otras longitudes, o para fundamentar que la establecida en estos momentos es la correcta.

## *RECOMENDACIONES*

---

## **Recomendaciones**

Se considera oportuno, teniendo en consideración los resultados del trabajo investigativo realizado, ofrecer las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar los métodos matemáticos asociados a las técnicas de computación en la dirección de los procesos de corte de cartulina en la Empresa Gráfica Cienfuegos.
2. Valorar con la dirección del centro los responsables y la fecha de ejecución de la propuesta de estrategia para asegurar la aplicación y continuidad del mismo.
3. Desarrollar un análisis similar al realizado para los pliegos de 70 cm. x 100 cm. para materias primas de otras longitudes que pueden ser suministradas por el proveedor.
4. Extender esta experiencia a otras empresas gráficas del país.

## *BIBLIOGRAFÍA*

---

## **Bibliografía**

- Bello, Juan, Casanova, Gabriela, Flores, Laura, Pacini, Elina, & Santos, Silvana. (2002). WinQSB Sistema de consulta para negocios.
- Blazej, & O. S. A. Nederes. (1998). Cleaner Production. Principles and implementation. Bratislava, Oslo.
- Carrascosa, C., Hernández, M.A., Rebollo, M., Barber, F., Botti, V., & Onaindía, E. (1997). Implementación de un Sistema de Optimización para el Corte de Materia Prima Mediante un Algoritmo Anytime. Universidad Politécnica de Valencia, 8.
- Castillo, Enrique, Conejo, Antonio J., Pedregal, Pablo, García, Ricardo, & Alguacil, Natalia. (2002). Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. Real ciudad, España.
- Castro, A. A. (2009). Gestión ambiental. Pensar antes de imprimir. Artes Gráficas.
- Comisión nacional del medio ambiente, Región metropolitana. (s. f.). Guía para el control de la contaminación industrial Rubro Industria Gráfica.
- Comité de normalización UIP. (2012a). RTL 107-0679-15. 2012. Metodología General para el cálculo de los Índices de Consumo de las Producciones Gráficas.
- Comité de normalización UIP. (2012b). RTL 107-0679-10-2012: «Directrices para el consumo material, la mácula y los desperdicios».
- Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana. (2009). Las buenas prácticas ambientales en artes gráficas.
- Cortés Cortés, Manuel E. (1999). Introducción a la Investigación de Operaciones.

- Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Cortés Cortés, Manuel E. (2011). Modelación Matemática Aplicada. Río Bomba, Ecuador: Universidad Interamericana de Ecuador.
- Cortés Cortés, Manuel E., Borroto Nordelo, Anibal, & Alvarez Bravo, Carlos A. (2012). Aplicaciones de los modelos multicriteriales a la energía, sociedad y medio ambiente., 33(3).
- Cortés Cortés, Manuel E., Herrera Sánchez, Santa, & Iglesias León, Miriam. (2012). La modelación matemática.
- Cortés Cortés, Manuel E., Miranda Pérez, Ridelio, Sánchez Navarro, Teresita, & Cubeira Hernández, Domingo. (s. f.). Modelos matemáticos aplicados a la administración y la economía. Campeche, México: Universidad Autónoma del Carmen.
- Cortés Cortés, Manuel E., & Pérez Armas, Rubén. (2008). Estructuras Especiales de la Programación Lineal. Cienfuegos, Cuba: Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- De León Rodríguez, Narciso Rubén. (1996). Métodos Matemáticos en la Dirección de los procesos de Corte de Materiales. Cienfuegos.
- Empresa Gráfica Cienfuegos. (2011a). PA 02 Compras.
- Empresa Gráfica Cienfuegos. (2011b). PA 03 Selección y evaluación de proveedores.
- Felipe Valdés, Pilar. (1987). Programación Matemática I. La Habana: Pueblo y Educación.
- Fernández Morales, Alexis. (1995). Análisis del proceso de corte de cristales en la

fábrica de espejos Lunasur. Cienfuegos.

Hideki Yanasse, Horacio. (2004). Aplicaciones de la combinatoria para la optimización en la industria. Artículo Científico. doi:Español

Hillier, F., & Lieberman, G. (1995). Introducción a la investigación de operaciones. México: Mc Grau-Hill.

In E. ACADEMIA. (2006a). Protección ambiental y producción + limpia (Vol. Parte 1). Recuperado a partir de [www.pml.cu/curso/Texto%20general%20final.Parte1.pdf](http://www.pml.cu/curso/Texto%20general%20final.Parte1.pdf)

In E. ACADEMIA. (2006b). Protección ambiental y producción + limpia (Vol. Parte 2). Recuperado a partir de [www.pml.cu/curso/Texto%20general%20final.Parte2.pdf](http://www.pml.cu/curso/Texto%20general%20final.Parte2.pdf)

Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen. (2007). Motivación al uso de tecnologías limpias en la Industria Gráfica.

Jaramillo, Juan D., & Correa, Francisco J. (2008). Programación lineal y algoritmos genéticos para la solución del problema de corte.

Kantorovich, L. (1939). Métodos Matemáticos de Organización y Planificación de la Producción. (Leningrado.).

Kaufman, A. (1975). Metodos y modelos de la investigación de operaciones. Pueblo y Educación.

Martínez, J. (2005). Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Montevideo, Uruguay.

Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. (2007). Resolución 39:2007.

Morales Herrera, Jean Paul. (2004). Optimización del proceso de corte de papel

en la Empresa Gráfica de Cienfuegos. Cienfuegos.

Morales Pita, Antonio E. (1984). Metodología de la Modelación Económico Matemática. La Habana: Científico Técnica.

Morales, A. (1984). Programación lineal. Metodología de aplicación. La Habana: Ciencias Sociales.

Morales, A. (1984). Metodología de la modelación económica matemática. Ciencia y Técnica.

Ochoa, George. (2007). Las Producciones Más Limpias en la Gestión Empresarial. Universidad de Cienfuegos: Editorial UniversoSur.

Oficina de Normalización. (2004). NC ISO 14001:2004 "Sistema de Gestión Ambiental".

Oficina de Normalización. (2008). NC ISO 9001:2008 «Sistema de Gestión de la calidad.»

Otero Durán, Dania, Felipe Valdés, Pilar, & Rodríguez Corominas, Enrique. (1980). Modelos Económicos Matemáticos: Apuntes. La Habana: Universidad de La Habana.

PCC. (2011). Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución. VI Congreso del Partido Comunista de Cuba (8, 15 y 124).

Piqué Ardanuy, Tomás. (1998). NTP 98: Guillotina de papel. Centro de Investigación y Asistencia Técnica.

Portela Silva, José M., & Kuzmich Artemenko, Vladimir. (1989). Modelos Económicos Matemáticos. La Habana: Pueblo y Educación.

Portela, J, & Sanchez, J. (1985). Programación matemática. (Vol. II). La Habana:

- ISDE.
- Red de Producciones Más Limpias. (2002). Cleaner Production Global Status Report. Biblioteca Virtual. Recuperado a partir de <http://www.redpml.cu>
- Rivera, A., R. Carrillo, J. S. González, S. Rodríguez, & J. M. Martínez. (2002). Producción Más Limpia en Cervecería Tíñima», informe técnico IIIA.
- Rizzo, K. (2008, agosto). La manufactura «Lean»: Nuevos rumbos para la gerencia en la industria gráfica. Revista Artes Gráficas, 42. Recuperado a partir de [www.artesgraficas.com](http://www.artesgraficas.com)
- Rodríguez García, Isabel. (2011). Jornada BATsGRAPH Situación Medioambiental en la Industria Gráfica. Centro Tecnológico CIT.
- Silgado, C. (2000). La protección ambiental. Oportunidad para el mejoramiento. Artes Gráficas.
- Taha, II. (1993). Investigación de operaciones. México.
- Terry Leonard, Eneida. (2004). Un procedimiento matemático para la optimización del proceso de corte del papel en la Empresa Gráfica de Cienfuegos. Cienfuegos.
- Tijonov, A, & Kostomárov, D. (1987). Conferencia de introducción a las matemáticas aplicadas. Moscú: Mir.
- UNEP. (2000). Cleaner Production Assessment in dairy processing, UNEP Division of Technology, Industry and Economics.
- Van Berkel. R. (2000, octubre 16). Cleaner Production perspectives for the next Decade (II) UNEP's 6th International High – level Seminar on Cleaner Production.

---

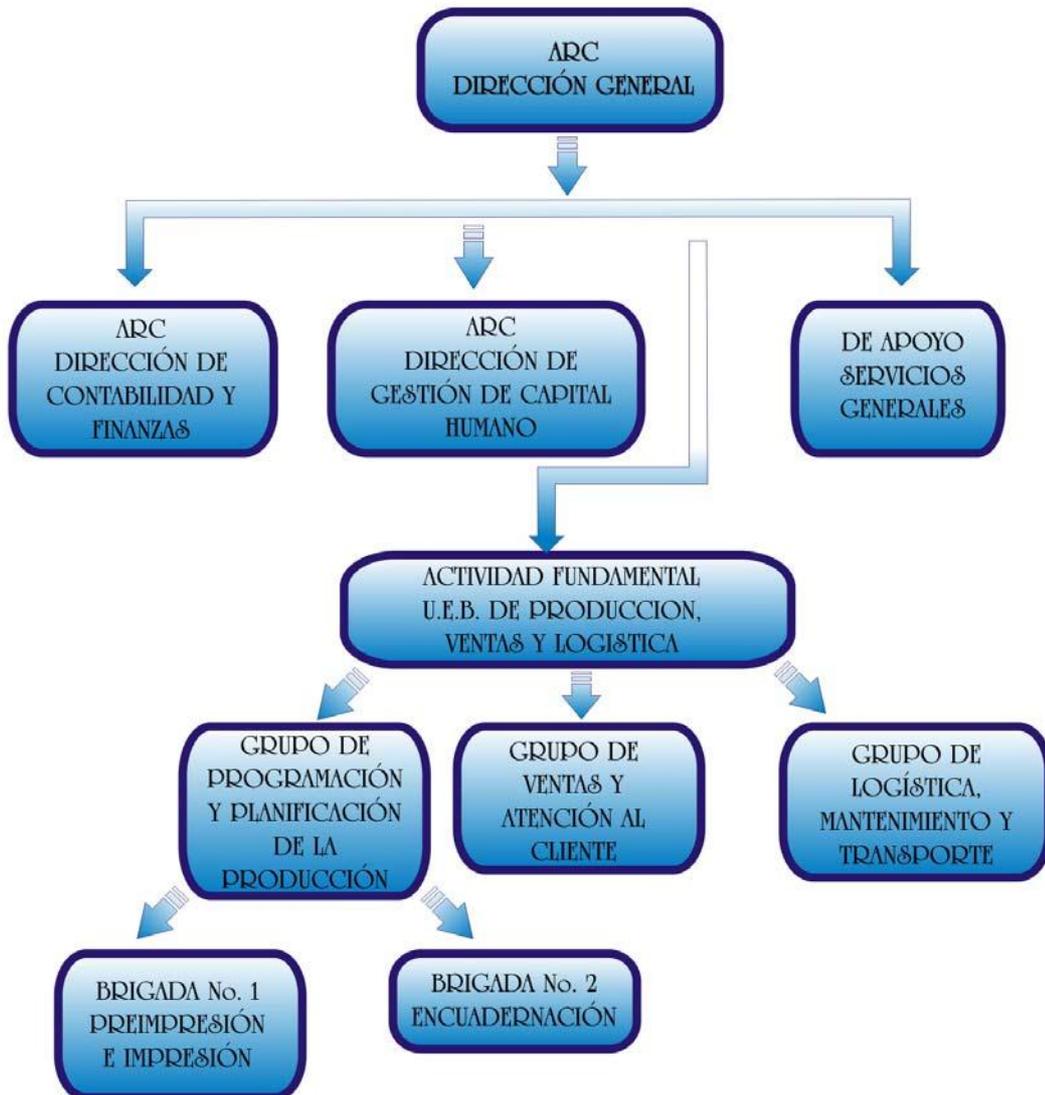
Voronov, A. A. (1980). La investigación de las Operaciones y las tareas de producción. La Habana: Ciencias Sociales.

Winston, W. (2005). Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos. (4 ta.). México: International Thomson Editores.

*ANEXOS*

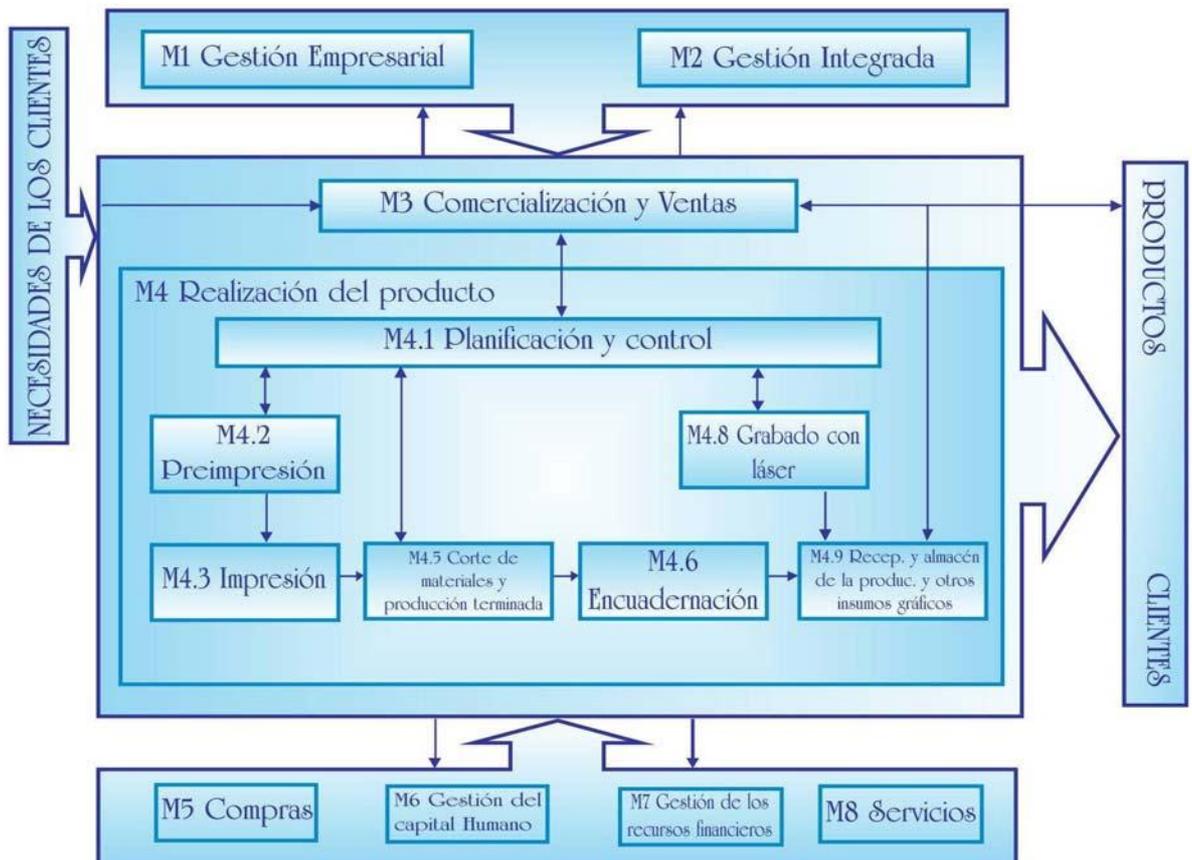
**Anexo No. 1:** Organigrama estructural de la Empresa Gráfica Cienfuegos.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Anexo No. 2:** Mapa de Proceso de la Empresa Gráfica Cienfuegos.

**Fuente:** Elaboración Propia.





**Anexo No. 3:** Características técnicas de las máquinas impresoras.

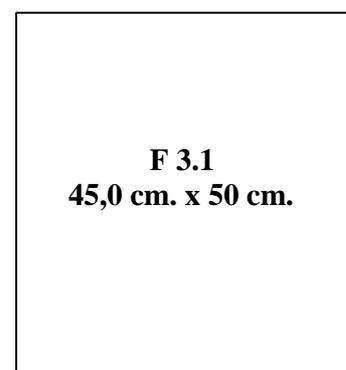
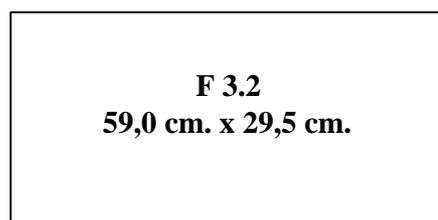
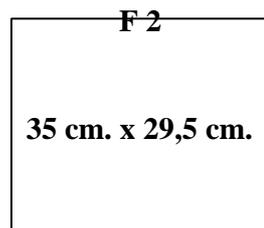
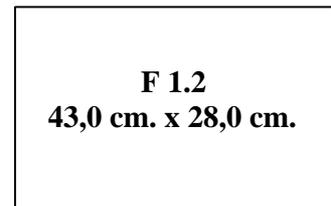
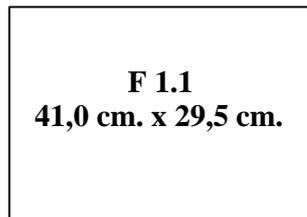
**Fuente:** Elaboración Propia.

Especificaciones Técnicas.	Tipo de Máquina.		
	Modelo: GTO – 52. Año de fabricación: 1979. País: Alemania.	Modelo: Rioby. Año de fabricación: 1982. País: Alemania.	Modelo: Sor M. Año de fabricación: 1980 País: Alemania.
Formato máximo	32 x 52 cm	34 x 56 cm	56 x 72 cm
Formato máximo en impresión de tiro y retiro	36 x 52 cm	38 x 56 cm	60 x 72 cm
Superficie de impresión máximo	34 x 50 cm	36 x 52 cm	58 x 70 cm
Formato mínimo	10.5 x 18 cm.	12.5 x 16.5 cm.	34 x 52 cm.
Formato mínimo en impresión de tiro y retiro	14 x 18 cm.	16 x 18 cm.	32 x 50cm
Con dispositivo especial (solo para impresión de tiro)	8.5 x 14 cm.	9.5 x 16 cm.	32.5 x 51 cm.
Mandos para las pinzas graduables	8 a 10 mm	8 a 10 mm	12 a 14 mm
Planchas offset	Largo 400 , ancho 510 (mm)	Largo 450, ancho 615 (mm)	Largo 600 ancho 800 (mm)
Grueso hasta	0.15 mm	0.15 mm	0.15 mm
Centro de la plancha hasta principio de impresión	34 mm	40 mm.	48 mm
Manta de caucho	520 x 445 mm	520 x 445 mm	520 x 445 mm
Grueso	1.9 mm	1.9 mm	1.9 mm
Rodillos dadores	4 por cuerpo impresor Diámetro 45, 47, 51 mm	4 por cuerpo impresor Diámetro 46, 48, 53 mm	4 por cuerpo impresor Diámetro 56, 57, 58 mm
Rodillos mojadores	2 por cuerpo impresor Diámetro 49 mm c/u	2 por cuerpo impresor Diámetro 51 mm c/u	2 por cuerpo impresor Diámetro 56 mm c/u
Potencia requerida	1.5 kw 3 diámetro	1.2 kw 2 diámetro	4.5 kw 6.5 diámetro
Dimensiones	Largo 1.27, ancho 1.26, alto 1.58 (m).	Largo 1.12, ancho 1.08, alto 0.92 (m).	Largo 2.1, ancho 1.30, alto 1.85 (m).
Velocidad máxima	8 000 pliegos/hora	6 000 pliegos/hora	10 000 pliegos/hora
Peso	1 152 Kg.	1 030 Kg.	2 650 Kg.



**Anexo No. 4:** Tipos de formatos.

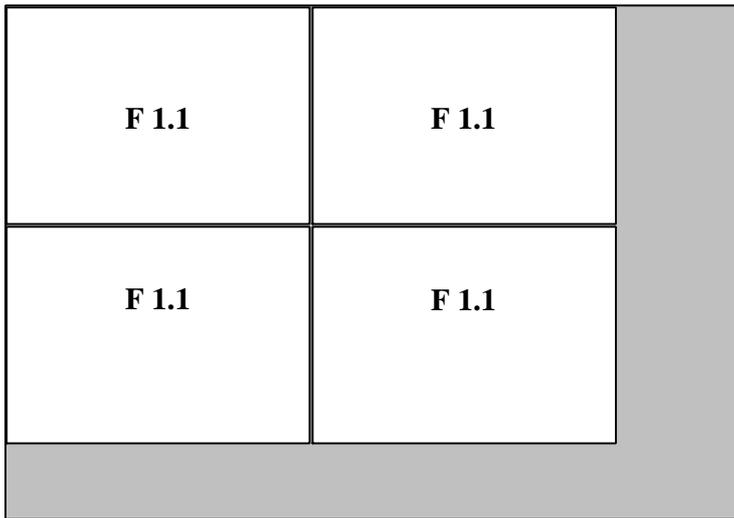
**Fuente:** Elaboración Propia.



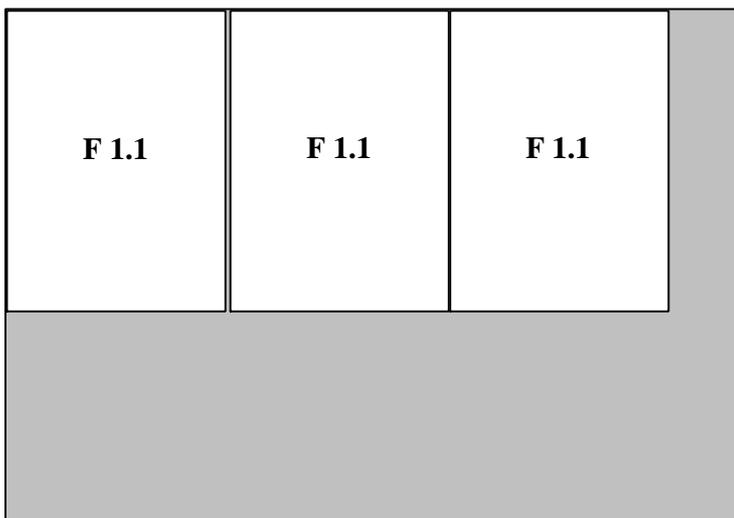
**Escala 1 cm.: 10 cm.**

**Anexo No. 5:** Variantes de cortes

**Fuente:** Elaboración Propia.

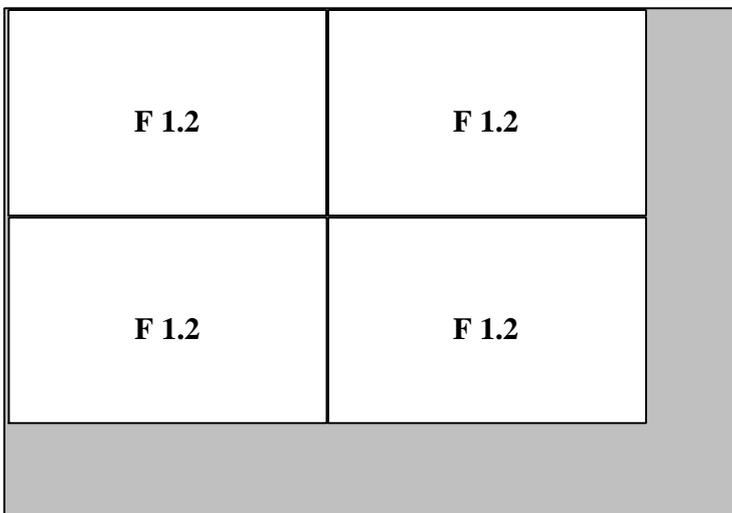


Variante de corte # 1 ( $X_1$ )  
 $D_1 = 2\,162,0\text{ cm}^2$



Variante de corte # 2 ( $X_2$ )

$D_2 = 3\,371,5\text{ cm}^2$

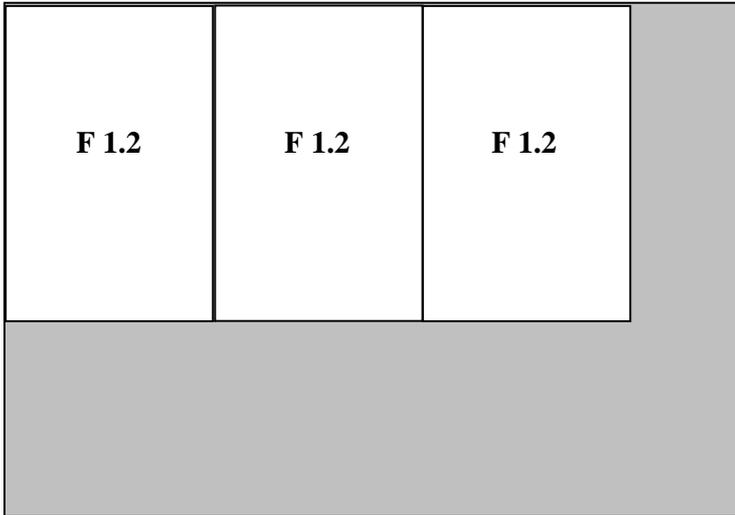


Variante de corte # 3 ( $X_3$ )

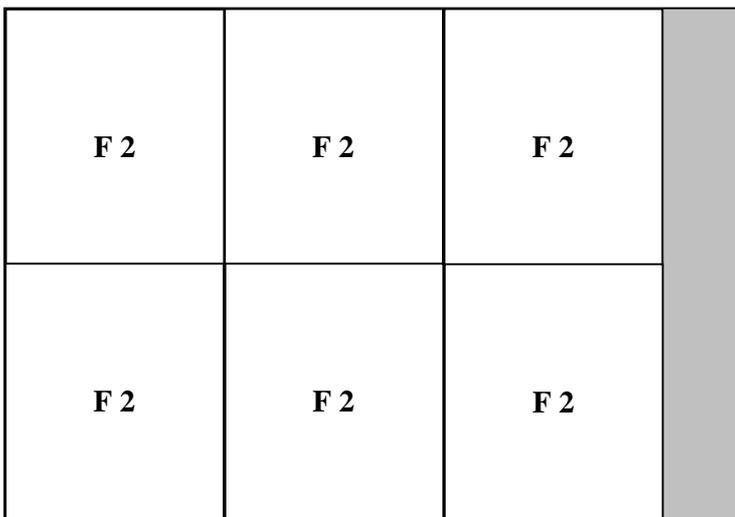
$D_3 = 2\,184,0\text{ cm}^2$

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

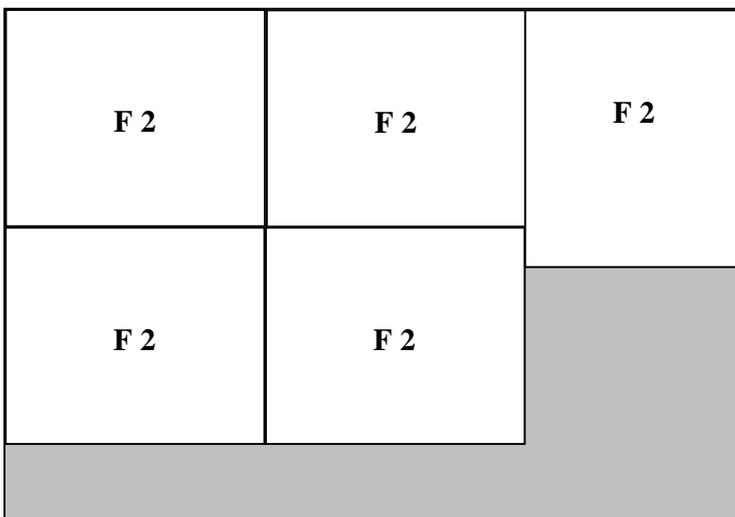
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 4 (X<sub>4</sub>)  
D<sub>4</sub>= 3 388,0 cm<sup>2</sup>



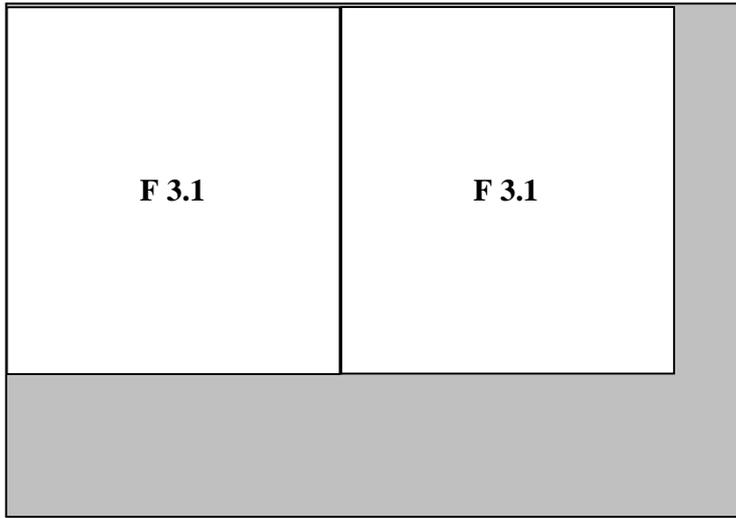
Variante de corte # 5 (X<sub>5</sub>)  
D<sub>5</sub>= 805,0 cm<sup>2</sup>



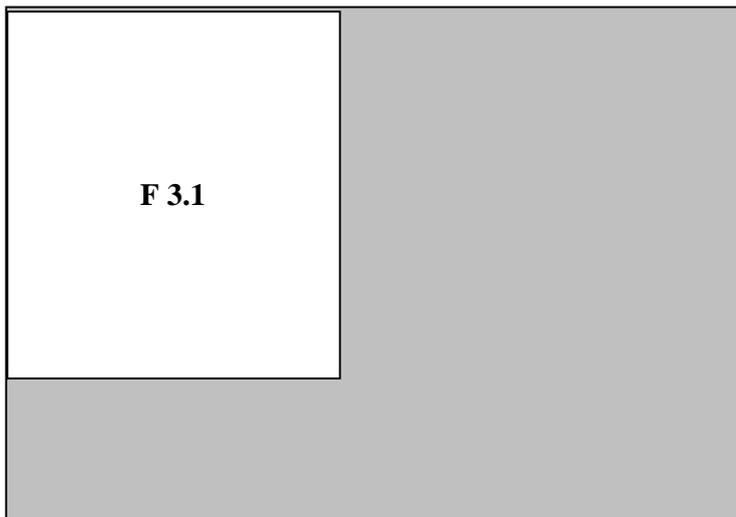
Variante de corte # 6 (X<sub>6</sub>)  
D<sub>6</sub>= 1 837,5 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

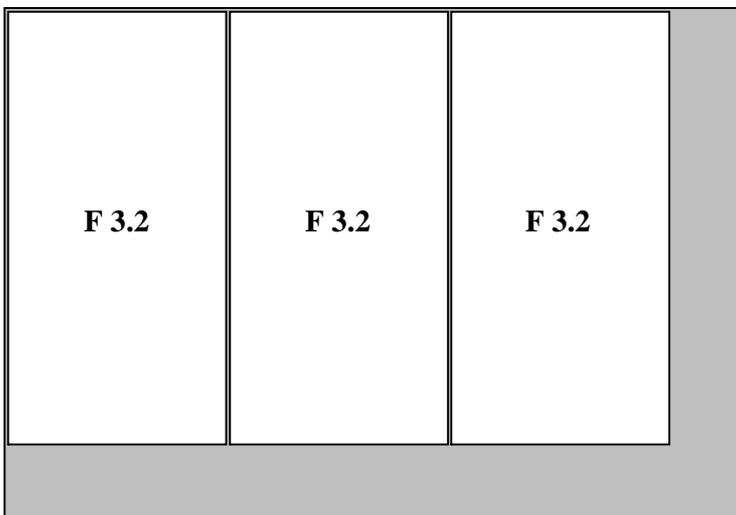
**Anexo No. 6:** Continuación.



Variante de corte # 7 (X<sub>7</sub>)  
D<sub>7</sub>= 2 500,0 cm<sup>2</sup>



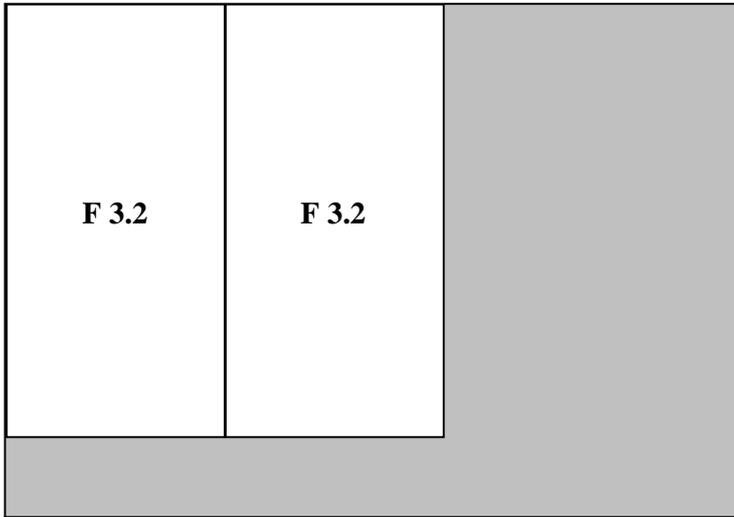
Variante de corte # 8 (X<sub>8</sub>)  
D<sub>8</sub>= 4 750,0 cm<sup>2</sup>



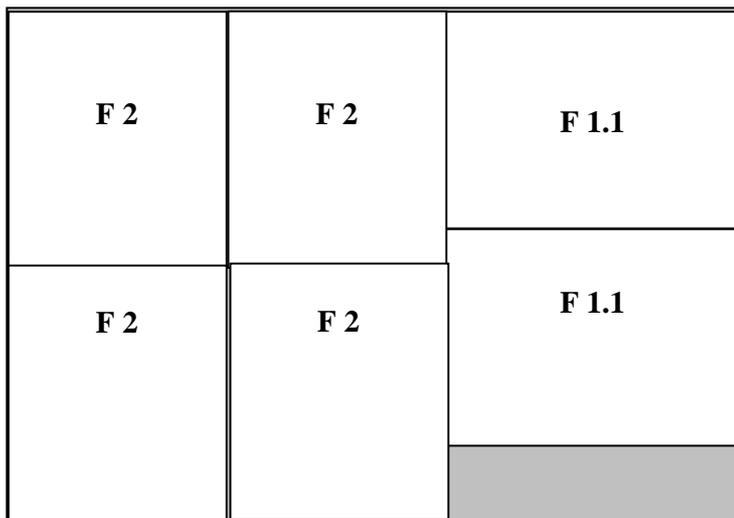
Variante de corte # 9 (X<sub>9</sub>)  
D<sub>9</sub>= 1 778,5 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

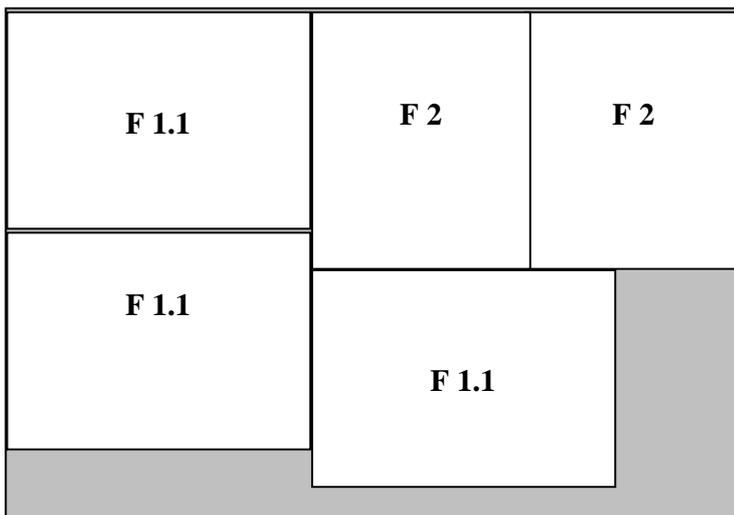
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 10 ( $X_{10}$ )  
 $D_{10} = 3\,519,0 \text{ cm}^2$



Variante de corte # 11 ( $X_{11}$ )  
 $D_{11} = 451,0 \text{ cm}^2$

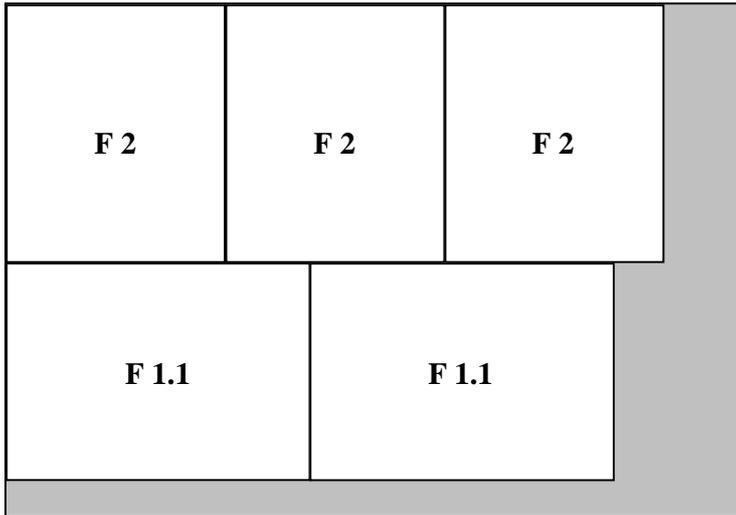


Variante de corte # 12 ( $X_{12}$ )

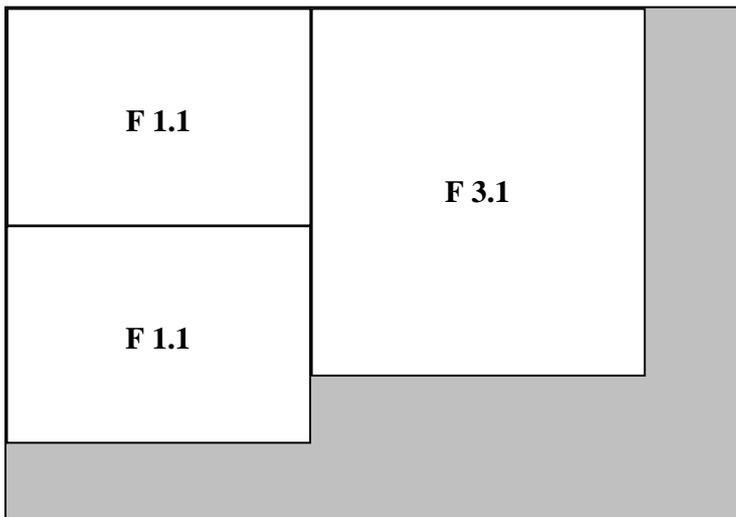
$D_{12} = 1\,306,5 \text{ cm}^2$

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

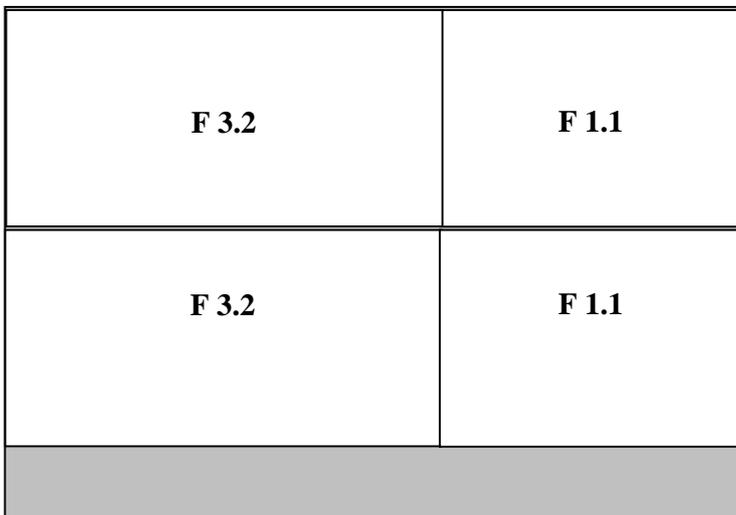
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 13 (X<sub>13</sub>)  
D<sub>13</sub>= 1 483,5 cm<sup>2</sup>



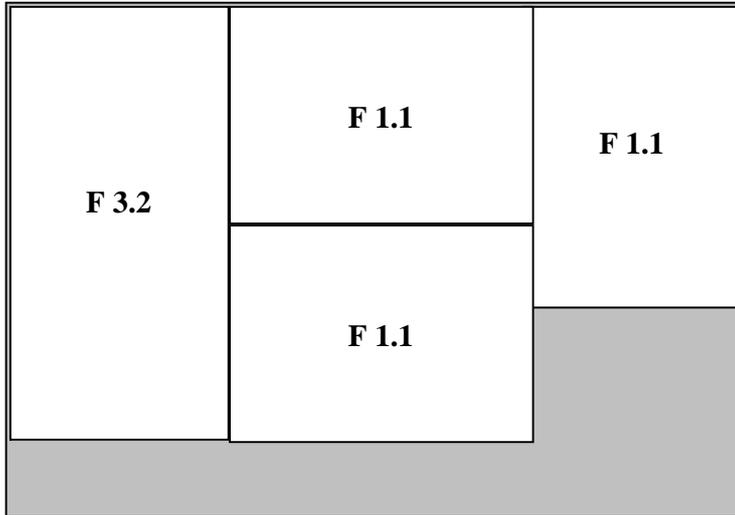
Variante de corte # 14 (X<sub>14</sub>)  
D<sub>14</sub>= 2 331,0 cm<sup>2</sup>



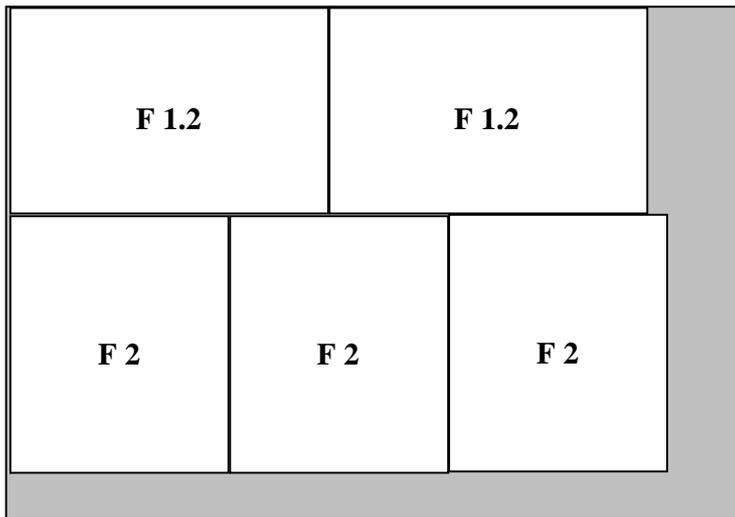
Variante de corte # 15 (X<sub>15</sub>)  
D<sub>15</sub>= 1 100,0 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

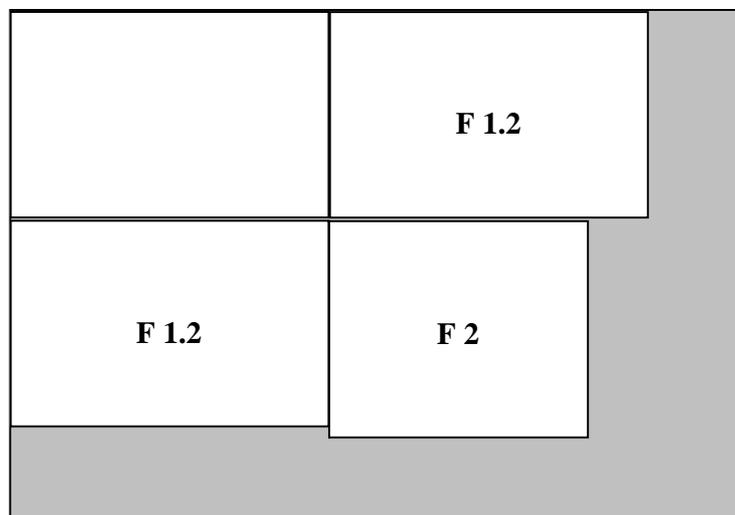
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 16 (X<sub>16</sub>)  
D<sub>16</sub>= 1 631,0 cm<sup>2</sup>



Variante de corte # 17 (X<sub>17</sub>)  
D<sub>17</sub>= 1 494,5 cm<sup>2</sup>

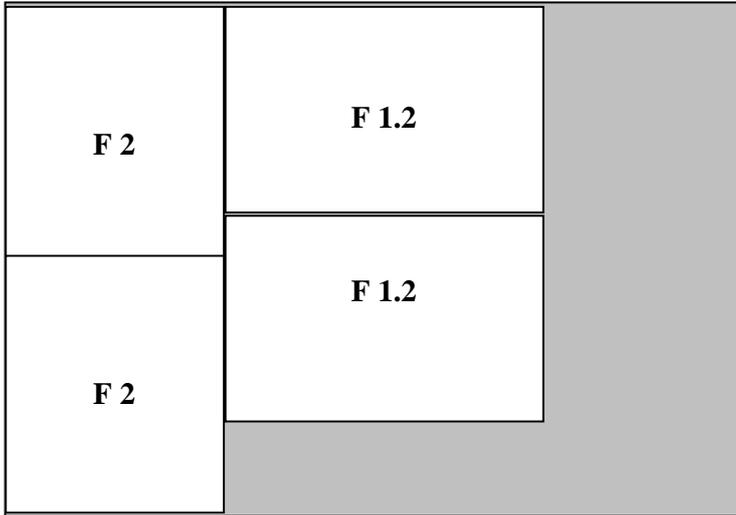


Variante de corte # 18 (X<sub>18</sub>)

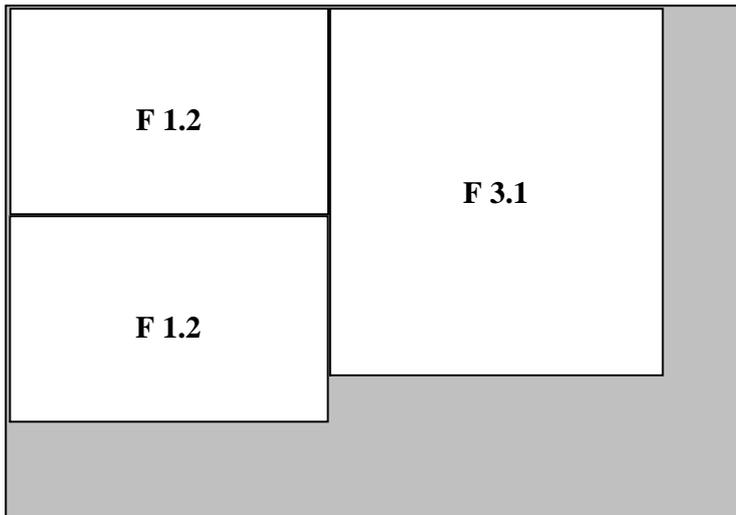
D<sub>18</sub>= 2 355,5 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

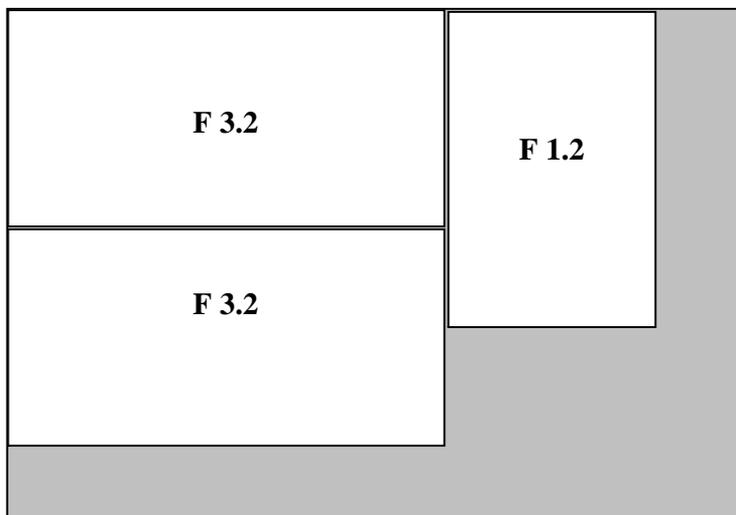
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 19 (X<sub>19</sub>)  
D<sub>19</sub>= 2 527,0 cm<sup>2</sup>



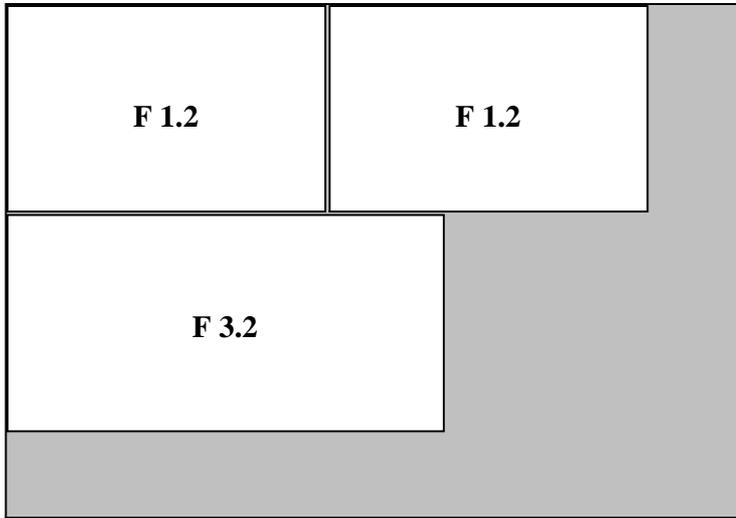
Variante de corte # 20 (X<sub>20</sub>)  
D<sub>20</sub>= 2 342,0 cm<sup>2</sup>



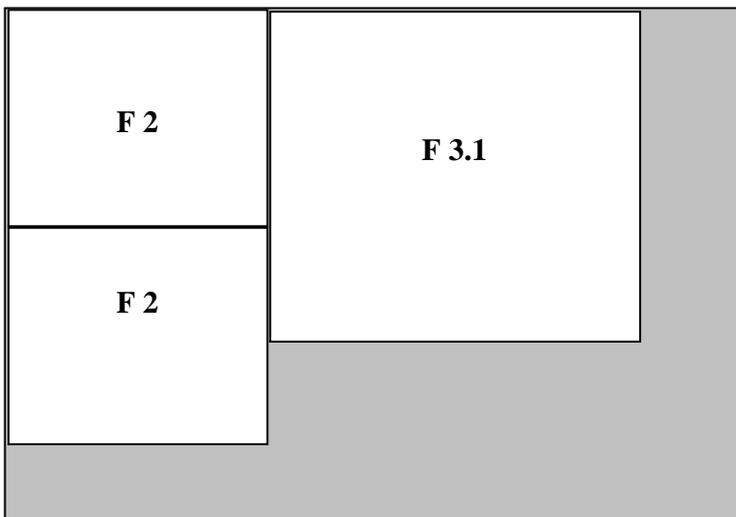
Variante de corte # 21 (X<sub>21</sub>)  
D<sub>21</sub>= 2 315,0 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

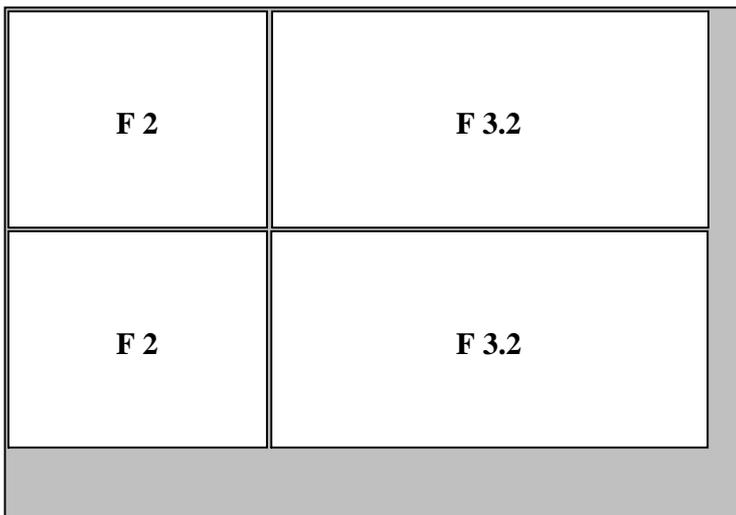
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 22 (X<sub>22</sub>)  
D<sub>22</sub>= 2 851,5 cm<sup>2</sup>



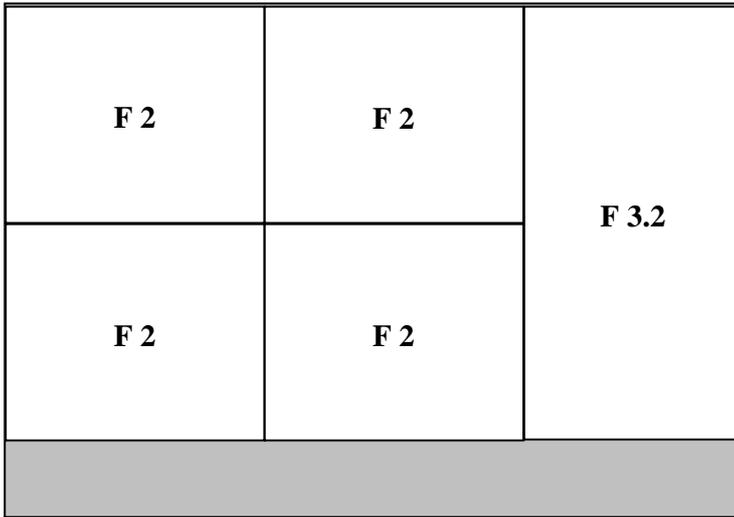
Variante de corte # 23 (X<sub>23</sub>)  
D<sub>23</sub>= 2 685,0 cm<sup>2</sup>



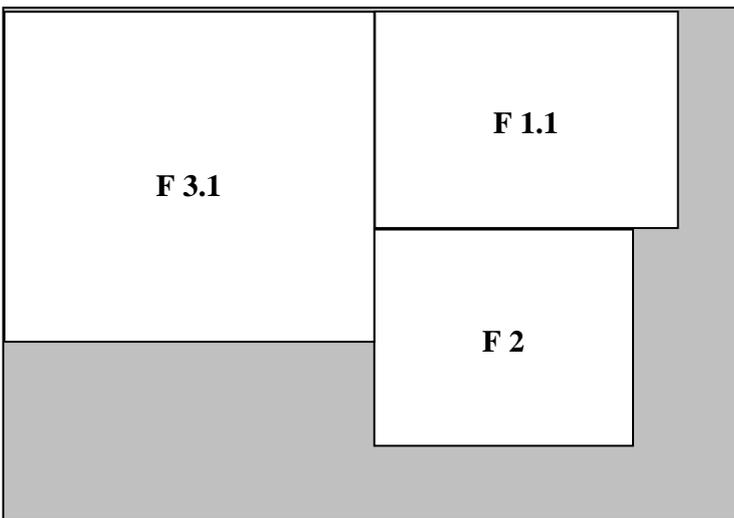
Variante de corte # 24 (X<sub>24</sub>)  
D<sub>24</sub>= 1 454,0 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

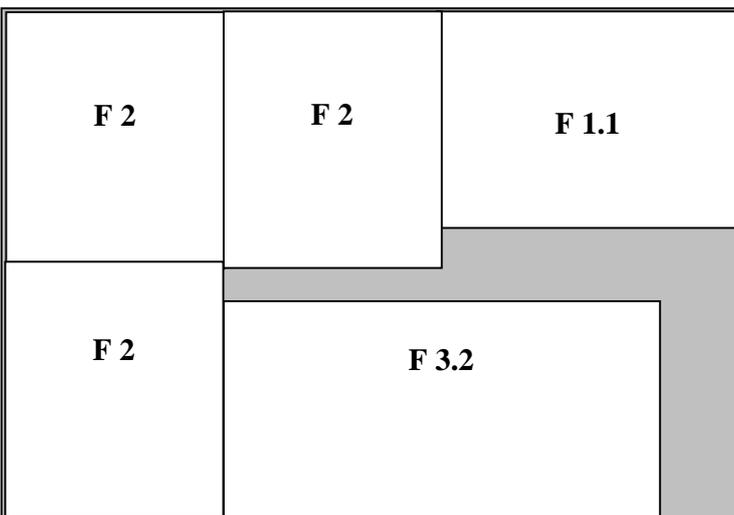
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 25 (X<sub>25</sub>)  
D<sub>25</sub>= 1 129,5 cm<sup>2</sup>



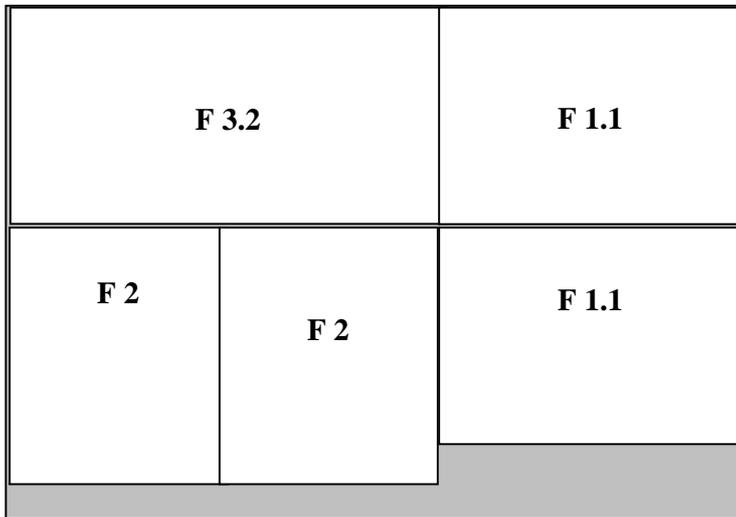
Variante de corte # 26 (X<sub>26</sub>)  
D<sub>26</sub>= 2 508,0 cm<sup>2</sup>



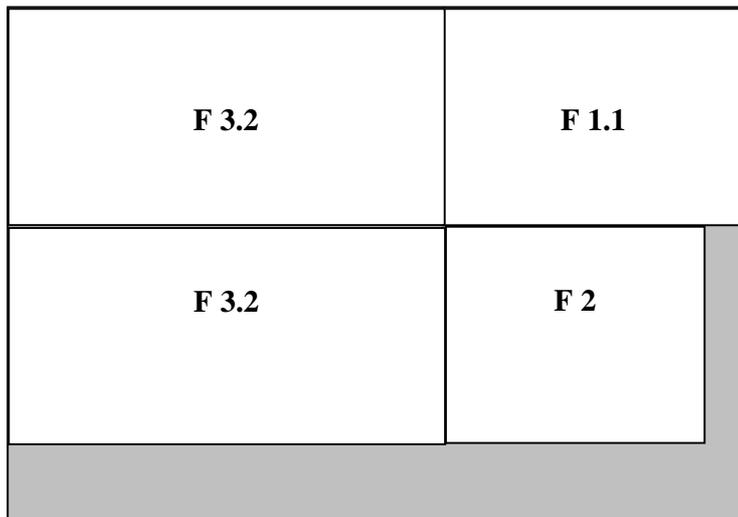
Variante de corte # 27 (X<sub>27</sub>)  
D<sub>27</sub>= 952,5 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

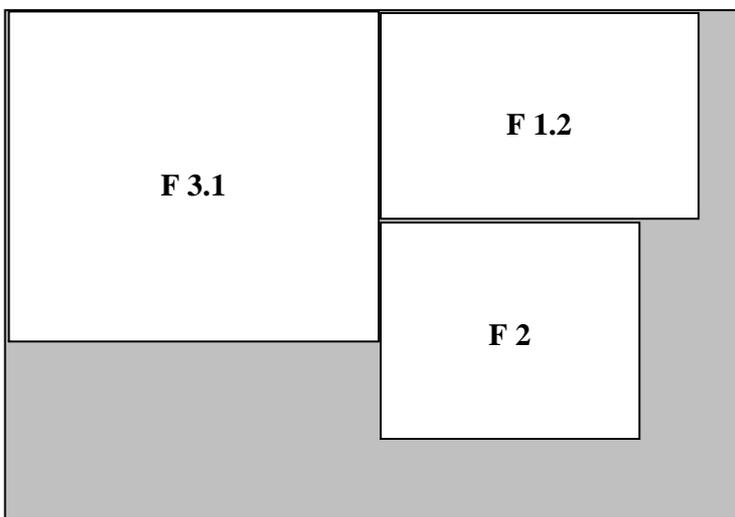
**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 28 (X<sub>28</sub>)  
D<sub>28</sub>= 775,5 cm<sup>2</sup>



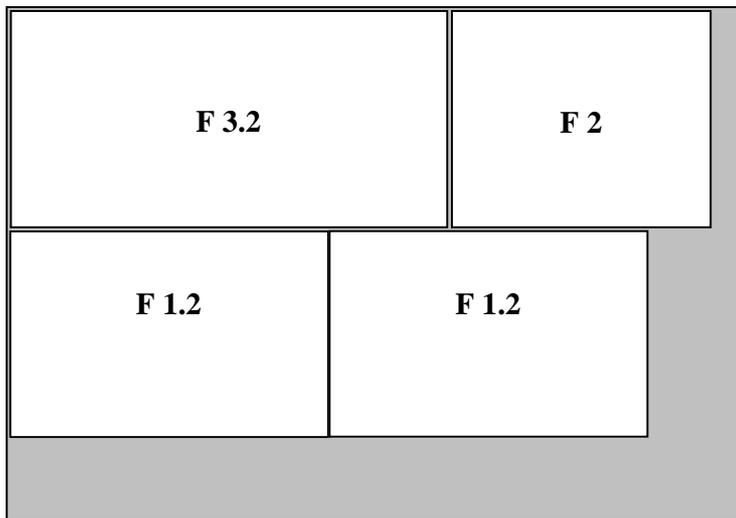
Variante de corte # 29 (X<sub>29</sub>)  
D<sub>29</sub>= 1 277,0 cm<sup>2</sup>



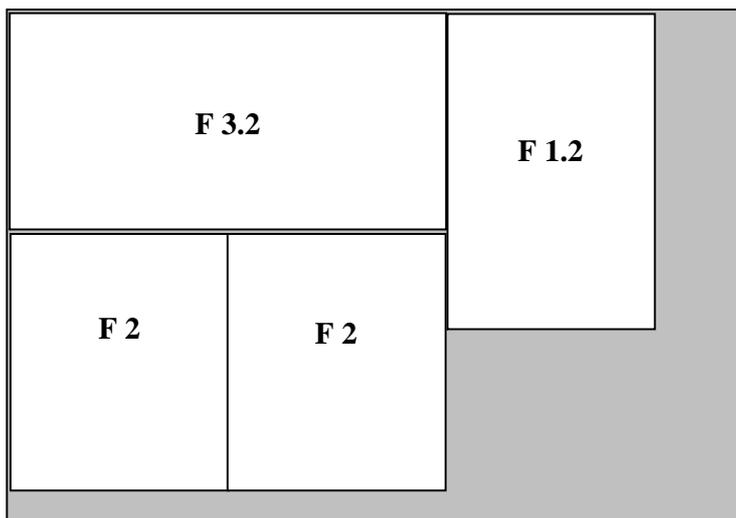
Variante de corte # 30 (X<sub>30</sub>)  
D<sub>30</sub>= 2 513,5 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

**Anexo No. 5:** Continuación.



Variante de corte # 31 (X<sub>31</sub>)  
D<sub>31</sub>= 1 819,0 cm<sup>2</sup>



Variante de corte # 32 (X<sub>32</sub>)  
D<sub>32</sub>= 1 990,5 cm<sup>2</sup>

**Escala 1 cm.: 10 cm.**

**Anexo # 6: Resultados del procesamiento computacional de los modelos.**

Solución óptima del modelo # 1

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 1	7	54,05	378,35
Función objetivo Min. D = 378,35			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 1	5	54,05	270,25
Función objetivo Min. D = 270,25			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 1	5	54,05	270,25
Función objetivo Min. D = 270,25			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 1	3	54,05	162,15
Función objetivo Min. D = 162,15			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 1	8	54,05	432,40
Función objetivo Min. D = 432,40			

Solución óptima del modelo # 2.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 5	4	20,125	80,50
Función objetivo Min. D = 80,50			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 5	4	20,125	80,50
Función objetivo Min. D = 80,50			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 5	5	20,125	100,625
Función objetivo Min. D = 100,625			

Solución óptima del modelo # 3

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 7	10	62,50	625,00
Función objetivo Min. D = 625,00			

**Anexo # 6:** Continuación.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 7	6	62,50	375,00
Función objetivo Min. D = 375,00			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 7	14	62,50	875,00
Función objetivo Min. D = 875,00			

Solución óptima del modelo # 4.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 11	10	11,275	112,75
Función objetivo Min. D = 112,75			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 11	6	11,275	67,65
Función objetivo Min. D = 67,65			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 11	6	11,2750	67,650
Variante de Corte # 12	6	32,6625	195,975
Función objetivo Min. D = 263,625			

Solución óptima del modelo # 5

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 14	12	58,275	699,30
Función objetivo Min. D = 699,30			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 14	12	58,275	699,30
Función objetivo Min. D = 699,30			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 14	28	58,275	1 631,70
Función objetivo Min. D = 1 631,70			

Solución óptima del modelo # 6

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 23	12	67,125	805,50
Función objetivo Min. D = 805,50			

**Anexo # 6:** Continuación.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 23	12	67,125	805,50
Función objetivo Min. D = 805,50			

Solución óptima del modelo # 7

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 26	20	62,70	1 254,00
Función objetivo Min. D = 1 254,00			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 26	12	62,70	752,40
Función objetivo Min. D = 752,40			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 26	20	62,70	1 254,00
Función objetivo Min. D = 1 254,00			

Solución óptima del modelo # 8

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 9	7	44,4625	311,2375
Función objetivo Min. D = 311,2375			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 9	4	44,4625	177,85
Función objetivo Min. D = 177,85			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 9	10	44,4625	444,625
Función objetivo Min. D = 444,625			

Solución óptima del modelo # 9

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 15	4	27,5000	110,00
Variante de Corte # 16	4	40,7750	163,10
Función objetivo Min. D = 273,10			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 15	6	27,50	165,00
Función objetivo Min. D = 165,00			

**Anexo # 6:** Continuación.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 15	15	27,50	412,50
Función objetivo Min. D = 412,50			

Solución óptima del modelo # 10

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 24	6	36,35	218,10
Función objetivo Min. D = 218,10			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 24	6	36,35	218,10
Función objetivo Min. D = 218,10			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 24	13	36,3500	472,550
Variante de Corte # 25	2	28,2375	56,475
Función objetivo Min. D = 529,025			

Solución óptima del modelo # 11

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 28	10	19,3875	193,875
Función objetivo Min. D = 193,875			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 28	6	19,3875	116,3250
Variante de Corte # 29	2	31,9250	63,8500
Función objetivo Min. D = 180,1750			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 28	8	19,3875	155,10
Variante de Corte # 29	6	12,7700	191,55
Función objetivo Min. D = 346,65			

Solución óptima del modelo # 12

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 3	7	54,60	382,20
Función objetivo Min. D = 382,20			

**Anexo # 6:** Continuación.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 3	5	54,60	273,00
Función objetivo Min. D = 273,00			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 3	5	54,60	273,00
Función objetivo Min. D = 273,00			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 3	3	54,60	163,80
Función objetivo Min. D = 163,80			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 3	8	54,60	436,80
Función objetivo Min. D = 436,80			

Solución óptima del modelo # 13

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 17	10	37,3625	373,625
Función objetivo Min. D = 373,625			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 17	6	37,3625	224,175
Función objetivo Min. D = 224,175			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 17	12	37,3625	448,3500
Variante de Corte # 18	2	58,8875	117,7750
Función objetivo Min. D = 566,125			

Solución óptima del modelo # 14

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 20	12	58,55	702,60
Función objetivo Min. D = 702,60			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 20	12	58,55	702,60
Función objetivo Min. D = 702,60			

**Anexo # 6:** Continuación.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 20	28	58,55	1 639,40
Función objetivo Min. D = 1 639,40			

Solución óptima del modelo # 15

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 30	20	62,8375	1 256,75
Función objetivo Min. D = 1 256,75			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 30	12	62,8375	754,05
Función objetivo Min. D = 754,05			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 30	20	62,8375	1 256,75
Función objetivo Min. D = 1 256,75			

Solución óptima del modelo # 16

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 21	2	57,8750	115,7500
Variante de Corte # 22	9	71,2875	641,5875
Función objetivo Min. D = 757,3375			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 21	4	57,8750	231,50
Variante de Corte # 22	4	71,2875	285,15
Función objetivo Min. D = 516,65			

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 21	10	57,8750	578,750
Variante de Corte # 22	10	71,2875	712,875
Función objetivo Min. D = 1 291,625			

Solución óptima del modelo # 17

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} x_j$
Variante de Corte # 31	10	45,475	454,75
Función objetivo Min. D = 454,75			

**Anexo # 6:** Continuación.

<b>Variable de decisión</b>	<b>Valor de <math>x_j</math></b>	<b>Valor de <math>d_{ij}</math></b>	<b><math>d_{ij} x_j</math></b>
Variante de Corte # 31	10	45,475	454,75
Función objetivo Min. D = 454,75			

<b>Variable de decisión</b>	<b>Valor de <math>x_j</math></b>	<b>Valor de <math>d_{ij}</math></b>	<b><math>d_{ij} x_j</math></b>
Variante de Corte # 31	20	45,475	909,50
Función objetivo Min. D = 909,50			

**Anexo # 7: Resultados del procesamiento computacional de los días estudiados.**

Solución óptima de la situación del día 28 de Octubre de 2013.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$
Variante de Corte # 15	38	27,5000	1 045,00
Variante de Corte # 16	4	40,7750	163,10
Función objetivo Min. D = 1 208,10			

Solución óptima de la situación del día 5 de Diciembre de 2013.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$
Variante de Corte # 28	38	19,3875	736,72
Variante de Corte # 29	2	31,9250	63,85
Función objetivo Min. D = 800,57			

Solución óptima de la situación del día 18 de Diciembre de 2013.

Variable de decisión	Valor de $x_j$	Valor de $d_{ij}$	$d_{ij} \times x_j$
Variante de Corte # 11	48	11,2750	541,20
Función objetivo Min. D = 541,20			