

DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA INTEGRADA DE PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN
Y SECUENCIACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA EMPRESA IMPRESOS Y EMPAQUES
D´CARTÓN LTDA

JORGE ERNESTO MENDOZA GIMENEZ

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

2004

DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA INTEGRADA DE PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN
Y SECUENCIACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA EMPRESA IMPRESOS Y EMPAQUES
D´CARTÓN LTDA

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:
JORGE ERNESTO MENDOZA GIMENEZ

DIRECTOR:
GUSTAVO ALFREDO BULA
INGENIERO INDUSTRIAL

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
2004

Índice general

I	CONTEXTUALIZACIÓN	13
1.	GENERALIDADES DEL PROYECTO	14
1.1.	FICHA TÉCNICA	14
1.2.	CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA COMPRESIÓN DEL PROYECTO	15
1.2.1.	Qué es un sistema experto?	15
1.2.2.	Cómo se puede aplicar un sistema experto a la planeación de la producción? . .	16
1.2.3.	Qué es la programación de operaciones?	18
1.2.4.	Qué es la simulación?	20
1.2.5.	La heurística del recocido simulado	21
II	DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA EXPERTO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA	23
2.	DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN	24
2.1.	EL APROVISIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	27
2.2.	CONVERSION DEL CARTÓN EN ROLLOS A FORMATOS DE TRABAJO	29
2.3.	IMPRESIÓN LITOGRAFICA	30
2.4.	TROQUELADO	36
2.5.	BARNIZADO	40
2.6.	DESCARTONE	42
2.7.	PEGUE	42
3.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN	44
3.1.	BASE DE DATOS DE PRODUCTOS	45
3.2.	BASE DE DATOS DE OPERACIONES Y TIEMPOS DE PRODUCCIÓN Y ALISTAMIENTO	51
3.2.1.	Estudio y estandarización del método:	51
3.2.2.	Diseño del método y las herramientas de medición de tiempos:	52
3.2.3.	Socialización del método adoptado con los funcionarios del area de producción: .	53
3.2.4.	Diseño y programación del software para el manejo de información:	53
3.3.	BASE DE DATOS DE MATERIAS PRIMAS	56
3.4.	BASES DE DATOS AUXILIARES	60
3.4.1.	Base de datos de tintas:	60

3.4.2. Base de datos de troqueles	62
3.4.3. Base de datos de planchas	64
4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	66
4.1. FUNCIÓN OBJETIVO	67
4.2. RESTRICCIONES GERENCIALES	67
4.3. RESTRICCIONES OPERATIVAS	68
4.4. VARIABLES DEL MODELO	70
4.5. HERRAMIENTAS DE PREPARACIÓN PARA EL ANÁLISIS	72
4.5.1. Definición de las actividades por referencia	72
4.5.2. Cálculo de los TTI y los T_i	74
5. SOLUCIÓN DEL MODELO	79
5.1. ALGORITMOS DE SOLUCIÓN	79
5.1.1. Programación de materias primas	79
5.1.2. Secuenciación de las actividades de producción	83
5.2. SOFTWARE PARA LA SECUENCIACIÓN DE PRODUCCIÓN	94
5.2.1. Escogencia del lenguaje de programación	94
5.2.2. Diseño de la interface	95
 III CONSIDERACIONES FINALES	 102
6. CONCLUSIONES	103
6.1. CONCLUSIONES SOBRE EL PROYECTO	103
6.2. CONCLUSIONES PERSONALES	104
7. RECOMENDACIONES	105

Índice de cuadros

1.1. Algunos tipos de problema en la programación de operaciones	19
2.1. Formato de la tabla de caracterización de procesos	27
2.2. Esquemas de aprovisionamiento de cartón	28
2.3. Actividades del proceso de cortarollo	29
2.4. Actividades del proceso de guillotinado	30
2.5. Características técnicas litográficas L1 y L3	31
2.6. Caracterización de la actividad de impresión litográfica	34
2.7. Características técnicas troqueladoras T1,T3,T4	36
2.8. Caracterización de la actividad de troquelado	39
2.9. Caracterización de la actividad de barnizado	41
2.10. Caracterización de la actividad de descartone	42
2.11. Caracterización de la actividad de descartone	43
3.1. Codificación de troqueles	62
4.1. Tabla de consideraciones del modelo	67
4.2. Restricciones de secuencia	68
4.3. Tiempos de preparación de la actividad de guillotina	74
4.4. Tiempos de preparación de la actividad de Cortarollo	75
4.5. Tiempos de preparación de la actividad de litografía	75
4.6. Tiempos de preparación de la actividad de troquelado	76
4.7. Tiempos de preparación de la actividad de barnizado	76
5.1. Variables usadas en el algoritmo de programación de materias primas	81

Índice de figuras

1.1. Esquema general de un modelo de simulación	20
2.1. Diagrama General del proceso	26
2.2. Fotos máquina cortarollo	29
2.3. Fotos máquina guillotina	30
2.4. Diagrama de actividades del proceso de litografía	32
2.5. Fotos maquinas litográficas	35
2.6. Fotos maquinas litográficas 2	35
2.7. Diagrama de actividades del proceso de troquelado	37
2.8. Fotos maquinas troqueladoras	39
2.9. Fotos máquina barnizadora 1	41
3.1. Pantalla Base de datos de productos 1	49
3.2. Pantalla Base de datos de productos 2	49
3.3. Pantalla Base de datos de productos 3	50
3.4. Pantalla Base de datos de productos 4	50
3.5. Pantalla Base de datos de tiempos y operaciones 1	54
3.6. Pantalla Base de datos de tiempos y operaciones 2	55
3.7. Pantalla Base de datos de tiempos y operaciones 3	56
3.8. Pantalla Base de datos de materias primas 1	58
3.9. Pantalla Base de datos de materias primas 2	59
3.10. Pantalla Base de datos de tintas 1	61
3.11. Pantalla Base de datos de troqueles 1	63
3.12. Pantalla Base de datos de planchas 1	64
4.1. Hoja de productos realizables por máquina	70
4.2. Algoritmo de segregación de actividades	73
4.3. Cálculo de la duración de las actividades	77
5.1. Diagrama de flujo de programación de materias primas	82
5.2. Diagrama de flujo del algoritmo de recocido simulado.	83
5.3. Algoritmo de construcción de secuencia	86
5.4. Aleatorización en máquinas diferentes a litográficas y troqueladoras	87
5.5. Aleatorización en máquinas troqueladoras	87
5.6. Aleatorización en máquinas litográficas	88

5.7. Calculo de los tiempos de inicio y finalización de las actividades	89
5.8. Ajuste de los tiempos de inicio y finalización	90
5.9. "Rodado" de los tiempos de inicio y finalización 2	90
5.10. Diagrama de flujo de generación de nuevas soluciones	92
5.11. Installwizard para el programa de producción	95
5.12. Menu principal del programa de producción	96
5.13. Listado de pedidos para un periodo	96
5.14. Pantalla de selección automática de materias primas	98
5.15. Pantalla de selección manual de materias primas	98
5.16. Orden de compra generada por el software	99
5.17. Resultados de la simulación	100
5.18. Orden de producción	101

TITULO: DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA INTEGRADA DE PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN Y SECUENCIACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA EMPRESA IMPRESOS Y EMPAQUES D´CARTÓN LTDA.*

AUTOR: JORGE ERNESTO MENDOZA GIMENEZ.**

CLAVES: SECUENCIACIÓN, RECOCIDO SIMULADO, JOB SHOP PROBLEM, SISTEMAS EXPERTOS, SIMULACIÓN, HEURÍSTICA, INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES.

RESUMEN: Este proyecto presenta una aplicación de la técnica del recocido simulado en la solución del problema de secuenciación de actividades de producción en una empresa de artes gráficas cuyo sistema de producción se asemeja a un modelo de *job shop*.

A través de las páginas de este trabajo se desarrolla una metodología para la construcción de un sistema experto que sustenta el proceso de toma de decisiones en el área de producción apoyado en un sistema de información diseñado para tal fin.

En el primer capítulo se presentan una serie de conceptos básicos referentes a la construcción de sistemas expertos, las técnicas heurísticas de optimización y una explicación detallada del recocido simulado como herramienta de análisis para problemas de carácter combinatorio.

Los capítulos siguientes están dedicados a la documentación de los procesos de producción de la empresa que sirvió como laboratorio de esta investigación, allí se pueden encontrar diagramas de flujo de proceso, fotos de los equipos y descripciones textuales de las actividades que conforman el flujo de trabajo de la empresa. De igual forma se explican el diseño y la construcción del sistema de información

Los capítulos posteriores están dedicados a la explicación de como se construyeron los modelos de decisión y la aplicación de la técnica de recocido simulado sobre el problema, así como una pequeña explicación sobre la herramienta computacional diseñada para la aplicación de los modelos en la empresa.

Finalmente se presentan en el capítulo restante una serie de conclusiones y recomendaciones sobre la investigación y sobre la importancia de este tipo de desarrollos en las facultades colombianas de ingeniería industrial.

* Monografía para optar al título de Ingeniero Industrial

** Escuela de estudios industriales y empresariales - Dirigido por Gustavo Alfredo Bula

TITTLE: DESING OF AN INTEGRATED ARCHITECTURE OF PRODUCTION PLANNING AND SCHEDULING AT IMPRESOS Y EMPAQUES D´CARTÓN LTDA*

AUTHOR: JORGE ERNESTO MENDOZA GIMENEZ.**

KEY WORDS: SCHEDULING, SIMULATED ANNEALING, JOB SHOP PROBLEM, EXPERT SYSTEMS, SIMULATION, HEURISTICS, OPERATIONAL RESEARCH.

ABSTRACT: This project presents an application of the simulated annealing in solving the scheduling problem of the production activities in an small printing company which production system can be described by the typical job shop model.

Chapter one contents the academic background of the investigation, basic concepts of expert systems building, modern optimization techniques and specially simulated annealing as a tool for solving combinatorial problems are shortly explained.

In the follow chapters, documentation about de production process of the company, pictures of it´s equipment, flow charts and detailed descriptions of the activities that are part of the work flow are largely treated. it is also posible in this chapters to review the design and construction of the information system standing after the expert system.

The next two chapters are dedicated to explain the design and construction of the decision models and the usage of simulated annealing in the specific problem, there is also a detailed explanation of the software created for using the models in the actual company´s production planing

The last chapter of the document presents the conclusions and recommendations about this work and the importance of this kind of projects in Colombia´s industrial engineering faculties.

* Monograph for opting to the Industrial Engineering Degree

** Escuela de estudios industriales y empresariales - Directed by Gustavo Alfredo Bula

DEDICATORIA

A mi madre Elena Gimenez

INTRODUCCIÓN

Diseño de una arquitectura integrada de planeación de producción y secuenciación de actividades es un proyecto de investigación concebido por la siempre fructífera unión de la academia y la empresa que pretende a través de la implantación de un sistema experto (Aplicaciones de la IA que toman los conocimientos de expertos humanos y ejecutan o asisten procesos de toma de decisiones) incrementar la productividad de una pequeña empresa y permitir el ingreso de esta al campo de la toma inteligente de decisiones en lo que a la producción respecta.

El proyecto surge al interior de la escuela de ingeniería industrial de la Universidad Industrial de Santander a partir del análisis de una tendencia presente en el pequeño empresariado colombiano a manejar las decisiones concernientes al área de producción de una forma poco científica y sin el apoyo de herramientas claves en este área como los sistemas informáticos y la modelación matemática.

Una vez identificada la existencia del problema de estudio, se consultó en diversas fuentes las propuestas hechas hasta ahora para encararlo y se extrajo lo mejor de cada una de ellas para llegar finalmente a la adopción de un sistema experto que contase con una base de conocimientos, una base de hechos y un motor de inferencia pero que a diferencia de los sistemas expertos tradicionales no basara este último elemento (el motor de inferencia) únicamente en reglas lógicas sino también en modelos matemáticos, lo que permite que el sistema se comporte como un apoyo en la toma de decisiones y no como un decisor autónomo.

Consultando el proyecto con empresas cercanas se llegó a un acuerdo con Impresos y Empaques D'Cartón Ltda. Para desarrollar con su planta como laboratorio una aplicación piloto que tiene como objetivo principal dotar de herramientas computacionales a la empresa para llevar a cabo de forma sistemática su proceso de toma de decisiones relacionadas a la producción como la programación de materias primas y la secuenciación de actividades; Y una vez obtenidos resultados comunicarlos a las demás empresas del gremio de las artes gráficas en el que D'Cartón es líder a nivel regional para incentivar su participación en desarrollos semejantes.

La metodología planteada para alcanzar estos objetivos es sencilla pero muy eficaz. Inicia con un análisis de los procesos de la toma de decisiones y los documentos que los describen que se complementan con un estudio de la capacidad del sistema para constituir las bases de hechos y conocimientos. Con estos elementos se tiene el material suficiente para entrar a definir la interfaz de comunicación con el usuario y posteriormente la programación del paquete computacional que constituye el principal producto de este trabajo.

Parte I

CONTEXTUALIZACIÓN

Capítulo 1

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. FICHA TÉCNICA

TITULO	Diseño de una arquitectura integrada de planeación de producción y secuenciación de actividades en Impresos y Empaques DCartón Ltd.
AUTOR	Jorge Ernesto Mendoza Gimenez
DIRECTOR	Gustavo Alfredo Bula
OBJETIVO GENERAL	Desarrollar una aplicación de una arquitectura integrada de planificación de la producción, que sustente el proceso de toma de decisiones como la programación de las actividades, asignación de cargas, manejo de inventarios tanto de materias primas como de producto en proceso y terminado en la empresa Impresos y empaques D´cartón Ltda.
OBJETIVOS ESPECIFICOS	<ul style="list-style-type: none">■ Documentar el proceso control de producción. Identificando las decisiones a tomar y los criterios bases para la toma de las mismas.■ Construir la base de conocimientos para la construcción del sistema experto de planificación de la producción.■ Identificar y seleccionar los modelos matemáticos y las reglas de decisión que constituyan el motor de inferencia.■ Desarrollar algoritmos para computadores basado en los requerimientos del usuario y casos del sistema experto.■ Desarrollar una interfase que le permita al usuario interactuar con el sistema y apoyarse en el mismo para la toma de decisiones referentes a la administración de las operaciones de la empresa.

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA COMPRENSIÓN DEL PROYECTO

1.2.1. Qué es un sistema experto?

El diccionario define experto como alguien perito en una materia[13], es decir alguien cuyo conocimiento en un tema específico es extenso y confiable. En un proceso de toma de decisiones un experto cumple un papel fundamental pues, como la definición deja intuir es quien posee un conocimiento acumulado a través del estudio y la experiencia que le permite interpretar una multitud de datos procedentes de diferentes fuentes y extraer de ellos la información necesaria para construir bien sea mentalmente o con ayuda de algún instrumento (que incluye desde un simple lápiz y un papel, hasta complejos sistemas computacionales) razonamientos y conjeturas que desemboquen en una decisión acertada que pueda traducirse en beneficios para la organización que dirige o para la cual trabaja.

Los sistemas expertos son uno de los productos más conocidos y potentes fruto de la investigación en inteligencia artificial (IA). Se trata de sistemas informáticos que intentan aprender los conocimientos que un experto posee sobre un campo muy concreto para luego juntándolo con la memoria y velocidad propias de un ordenador, utilizarlo en un proceso de toma de decisiones, bien sea para asesorar a lo largo del proceso o para tomar la decisión por el experto. Este tipo de aplicaciones es útil para aumentar la efectividad de las decisiones y reducir el tiempo requerido para llevar a cabo el proceso para tomarlas, lo que sin lugar a duda se traduce en una disminución de costos y un aumento de competitividad.

No existe una estructura de sistema experto común. Sin embargo, la mayoría de los sistemas expertos tienen cuatro componentes básicos: base de conocimientos, motor de inferencia, base de datos y la interfaz con el usuario. Muchos tienen, además, un módulo de explicación y un módulo de adquisición del conocimiento.

En la base de conocimiento está almacenada la información que se va a emplear en el problema (reglas y parámetros), contiene el conocimiento especializado extraído del experto. Es decir, contiene el conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja.

La base de datos o base de hechos es una parte de la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar para explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

En el motor de inferencia están programadas las manipulaciones genéricas de tipo lógico que se van a aplicar, utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para

alcanzar una solución.

La interfaz de usuario permite que este pueda describir el problema al sistema experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado. También puede solicitar más información si le es necesaria al sistema experto. En algunos sistemas se utilizan técnicas de tratamiento del lenguaje natural para mejorar la comunicación entre el usuario y el sistema.

La mayoría de los sistemas expertos contienen un módulo de explicación, diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Si el usuario pregunta al sistema cómo ha alcanzado una conclusión, éste le presentará la secuencia completa de reglas usadas. Esta posibilidad de explicación es especialmente valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del sistema experto. Además, de esta forma, y con el tiempo suficiente, los usuarios pueden convertirse en especialistas en la materia, al asimilar el proceso de razonamiento seguido por el sistema. El sub-sistema de explicación también puede usarse para depurar el sistema experto durante su desarrollo.

Los sistemas expertos más avanzados contienen un módulo de adquisición de conocimientos que permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos (en la mayoría de los casos reglas) bien sea en la base de conocimientos o en la base de hechos. Si el entorno es dinámico es muy necesario, puesto que, el sistema funcionará correctamente sólo si se mantiene actualizado su conocimiento. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen. Según la clase de problemas hacia los que estén orientados, podemos clasificar los Sistemas Expertos en diversos tipos entre los que cabe destacar diagnóstico, pronóstico, planificación, reparación e instrucción.

1.2.2. Cómo se puede aplicar un sistema experto a la planeación de la producción?

El plan de producción es el resultado de una serie de decisiones como la programación de las materias primas, la carga de trabajo que le será asignada a cada uno de los centros de trabajos y operarios, los niveles de inventario en proceso y producto terminado deseados, los tiempos de entrega a los cuales la empresa se ha comprometido y la secuenciación de las actividades de producción entre otros; todas estas decisiones están sujetas a un elevado número de variables, algunas de ellas difíciles de cuantificar o medir lo que convierte el proceso de planeación de la producción en uno de las actividades más complejas de la industria.

Un sistema experto es la herramienta ideal para enfrentar las dificultades que este proceso puede acarrear. La capacidad y velocidad de los computadores para resolver modelos matemáticos y lógicos así como su *gran performance* en la simulación de diversas situaciones le permiten a un sistema experto evaluar distintos escenarios de programación de la manufactura y brindar al usuario una ayu-

da única en el proceso de toma de decisiones.

La metodología para aplicar un sistema experto a la planeación de la producción varía según el proceso que se esté manejando, sin embargo se puede decir que la línea de acción diseñada y ejecutada en el desarrollo de este proyecto es un acercamiento bastante válido a lo que puede ser una metodología general para la implantación de sistemas expertos en la planeación de la producción.

Lo primero que se debe hacer es conocer a fondo el sistema productivo, es decir elaborar una radiografía del proceso de producción que se intenta atacar y todas sus variables. Para tal fin son útiles herramientas como los planos de la distribución física de la planta y los estudios de métodos, tiempos y movimientos, los cuales deben incluir, descripciones detalladas de la capacidad de los equipos y el recurso humano, las duraciones de los ciclos de fabricación, las capacidades y localizaciones de los espacios designados al almacenamiento de productos, materiales y lotes de transferencia, las distancias y tiempos de los desplazamientos entre centros de trabajo y áreas de almacenamiento, recibo y despacho, la secuencia de actividades que se debe seguir en la fabricación de cada uno de los productos de la empresa y los tiempos de respuesta de los proveedores de los diferentes insumos. Toda esta información es vital en la construcción de la base de hechos o base de datos del sistema; Sin embargo estos datos no serán para nada útiles si no se ha logrado primero una estandarización de los procedimientos de producción de los cuales se extrajeron.

Una vez se ha recopilado del sistema la información para la construcción de la base de hechos, se debe entrar en la mente del experto a cargo de la planeación de la producción y extraer de ella los modelos y reglas que formarán la base de conocimiento. Es importante saber cómo se toman las decisiones de planeación de la producción pues no se puede entrar a optimizar lo que no se conoce por completo; es posible mediante entrevistas y observación directa darse cuenta de cuáles son las decisiones que el experto en la planeación de la producción debe tomar en el momento de organizar el flujo de trabajo de la compañía a la cual le presta sus servicios; estas decisiones deben ser llevadas a modelos matemáticos o bien lógicos para que puedan convertirse en el motor de inferencia de un sistema experto.

Cuando se conocen los parámetros que sigue el proceso de toma de decisiones es necesario encasillarlos en los modelos y algoritmos existentes actualmente; esta tarea puede no ser del todo fácil si se considera que dichos modelos han sido concebidos bajo una serie de postulados y condiciones que pueden no ser posibles de reproducir en la empresa.

1.2.3. Qué es la programación de operaciones?

La programación de operaciones concreta el programa maestro de producción en actividades o tareas, asigna a un centro de trabajo, máquina o instalación y determina un intervalo de tiempo para su ejecución buscando que se cumplan las fechas de entrega planificadas y que se emplee el menor volumen de recursos e inventario posible. ¹

Existen dos términos claves en la programación de operaciones, la Secuenciación que se define como el orden de ejecución de las operaciones en los diferentes centros de trabajo que componen un proceso de fabricación y el *Scheduling* que está dado por la determinación de los instantes de inicio y terminación de las operaciones en cada de estos centros[11].

El problema fundamental de la programación del taller de trabajo consiste en determinar el orden o secuencia en que las máquinas procesarán los trabajos optimizando alguna medida de desempeño[11]. Algunas medidas de medición del desempeño son presentadas a continuación.

- Makespan: Instante de salida de la última pieza del taller
- Mean Flow Time: Tiempo medio de permanencia en el taller
- Maximum Lateness: Retraso de la pieza más retrasada

El estudio de la programación de operaciones ha llevado a los expertos a crear algunos esquemas con características definidas en los cuales se pueden encajar los diversos problemas a encarar. La tabla 1.1 muestra algunos de ellos con sus principales características.

General Shop Problem

- Hay n trabajos i ($i = 1 \dots n$)
- Existen k máquinas M_k ($k = 1 \dots k$) con capacidad de realizar un trabajo a la vez
- Cada trabajo i consiste de una serie de operaciones $O_{i,j}$ con tiempos de procesamiento $p_{i,j}$
- Los tiempos de procesamiento son determinísticos y conocidos de antemano.
- Cada operación debe ser realizada en una máquina $m_{i,j} \in (M_1 \dots M_k)$ por un periodo de tiempo ininterrumpido.
- Pueden o no existir relaciones de precedencia entre las operaciones de todos los trabajos.
- Cada trabajo se puede realizar en solo una máquina a la vez.

¹Tomado de: [11]

Open Shop Problem

- Es un caso específico del **General Shop Problem**
- Cada trabajo i consiste en m operaciones $O_{i,j}$ donde ($j = 1 \dots m$)
- $O_{i,j}$ debe ser procesada en una máquina $M_{i,j}$
- No existen relaciones de precedencia entre operaciones.

Flow Shop Problem

- Es un caso específico del **General Shop Problem**
- Cada trabajo i consiste en m operaciones $O_{i,j}$ con tiempos de procesamiento $p_{i,j}$ ($j = 1 \dots m$) donde $O_{i,j}$ debe ser procesada en una máquina $M_{i,j}$
- Existe una restricción de precedencia de la forma $O_{i,j} > O_{i,j+1}$ ($j = 1 \dots m - 1$) para cada ($i = 1 \dots n$).

Permutation of the FSP

- Es un caso específico del **Flow Shop Problem**
- donde todas las máquinas tienen el mismo orden de trabajo.

Job Shop Problem

- Cada orden i requiere m operaciones O_{ij} con tiempos de procesamiento P_{ij} donde $j = (1, \dots, m)$ y O_{ij} debe ser procesada en la máquina M_{ij} .
- Las operaciones para cada producto deben ser secuenciadas en un orden predeterminado (Existen restricciones de secuencia).
- Cada orden tiene un patrón de secuencia a través de las máquinas independiente del de las otras órdenes.
- Cada máquina está en capacidad de procesar solo un orden a la vez.
- Cada operación tiene asociado un tiempo de alistamiento σ_{ij} .

Cuadro 1.1: Algunos tipos de problema en la programación de operaciones [3]

1.2.4. Qué es la simulación?

No siempre cuando se quiere evaluar alternativas para un sistema es posible experimentar con el sistema real bien sea por motivos económicos, éticos o simplemente porque no vale la pena hacerlo. En dichos casos se pueden construir modelos lógico-matemáticos que describan mediante una serie de ecuaciones y relaciones el comportamiento básico del sistema.

El estudio, análisis, validación y verificación de un modelo de este tipo puede hacerse en muchos casos por métodos analíticos o por métodos numéricos. Sin embargo, cuando se quiere estudiar modelos más realistas o detallados, se puede llegar a situaciones en las que no es posible o es bastante difícil resolver analítica o numéricamente un problema. En tales casos es útil utilizar la simulación.

La simulación es una metodología de análisis de sistemas basada en la construcción de un modelo, típicamente implementado en un ordenador, que describe el comportamiento del sistema y que permite generar observaciones dadas ciertas entradas. Tales observaciones se analizan estadísticamente para estimar medidas del comportamiento del sistema de interés.

Los modelos de simulación pueden diferir en gran medida, dependiendo de si el espacio de estados es discreto o continuo. Las observaciones pueden ser estáticas o dinámicas, como función continua o discreta del tiempo. También las medidas de comportamiento pueden diferir enormemente. Pueden ser estáticas, de transición o de comportamiento estacionario¹.

A pesar de la gran variedad de posibilidades descritas, la mayoría de experimentos de simulación, una vez construido el correspondiente modelo, se adaptan al esquema del gráfico 1.1².

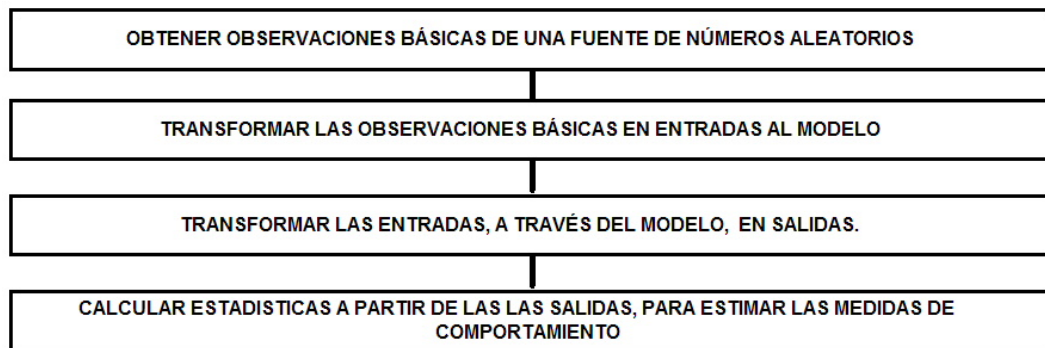


Figura 1.1: Esquema general de un modelo de simulación

En el estudio de la simulación como herramienta para la solución de problemas de optimización se han desarrollado métodos y técnicas inspiradas en la naturaleza como el algoritmo genético, las redes neuronales y las colonias de hormigas. Estos métodos junto con el recocido simulado, la

¹ Tomado de [9] página 9

² Tomado de [9] página 10

búsqueda tabu y la lógica fuzzy se conocen como las técnicas inteligentes de optimización y sobre ellas se han desarrollado aplicaciones que han dado respuestas a diversos problemas de la ciencia y la industria

1.2.5. La heurística del recocido simulado

El algoritmo del recocido simulado fue derivado de la mecánica estadística, Kirkpatrick en 1983 propuso un algoritmo basado en la analogía entre el recocido de sólidos y la resolución de problemas combinatoriales de optimización.

El recocido (o temple) es el proceso físico de calentar un sólido para luego enfriarlo lentamente hasta que este se cristalice. Los átomos en el material tienen altas energías a altas temperaturas lo que significa mayor libertad para organizarse por sí mismos. Al disminuirse la temperatura, las energías atómicas decrecen. Un cristal con una estructura regular y estable se obtiene al alcanzar el estado de mínima energía en el sistema. Si el enfriamiento se da apresuradamente se presentan en el cristal amplias irregularidades y defectos ya que el sistema no alcanza el estado de mínima energía y finaliza en un estado de policristalinidad de mayor energía.

A una temperatura determinada la distribución de probabilidad del nivel de energía del sistema está determinada por la probabilidad de Boltzmann.

$$P(E) \propto e^{-\frac{E}{kT}} \quad (1.1)$$

Donde E es la energía del sistema, k es la constante de Boltzmann, T es la temperatura y $P(E)$ es la probabilidad de que el sistema este en un estado con energía E .

A altas temperaturas, $P(e)$ converge a 1 para todos los estados de energía de acuerdo con la ecuación 1.1. Se puede ver también que existe una pequeña probabilidad de que el sistema tenga alta energía inclusive a bajas temperaturas. De esta forma la distribución estadística de probabilidad de la energía permite al sistema escapar de un mínimo local de energía alcanzado.

En la analogía entre un problema de optimización combinatorial y el proceso de recocido o temple, los estados del sólido representan soluciones factibles al problema, la energía del estado corresponde a los valores de la función objetivo resultante de dicha solución, el mínimo estado de energía corresponde a la solución óptima al problema y un enfriamiento rápido puede semejar la obtención de un óptimo local.

El algoritmo consiste en una secuencia de iteraciones. Cada iteración consiste en cambiar aleatoriamente (siguiendo los principios de la heurística) la solución actual por una nueva solución generada en su vecindario. Una vez una nueva solución es creada el valor de la función objetivo es computado y comparado para decidir si la nueva solución generada puede o no ser adoptada como solución actual. Si el valor de la función objetivo mejora, la nueva solución es adoptada inmediatamente como nuevo punto de búsqueda. Si por el contrario la solución desmejora el valor de la $F.O$ se aplica el

criterio de Metrópolis basado en la probabilidad de Boltzmann para determinar si la nueva solución es aceptada o no.

De acuerdo con el criterio de Metrópolis, si la diferencia entre el último valor óptimo encontrado para la función objetivo y el valor de la misma función proporcionado por la nueva solución es mayor o igual a cero, un número aleatorio δ en el intervalo $[0, 1]$ es generado por una distribución uniforme y si $\delta \leq e^{\frac{-\Delta E}{T}}$ entonces la solución recién generada es aceptada como solución actual, en caso contrario la solución actual no cambia. ΔE es la diferencia entre el valor último óptimo de la función objetivo encontrado y el valor que da a la función la última solución generada.

Para poder aplicar el algoritmo del recocido simulado a un problema real, hay cuatro cosas principales que deben ser definidas:

- Representación de las soluciones
- Definición de la función de costos
- Definición del algoritmo de generación de los vecindarios
- Diseño del programa de enfriamiento.

La representación de las soluciones y la definición de la función de costos pueden ser creados por el investigador o pueden tomarse prestado de elementos de otros algoritmos como la mutación y la inversión del algoritmo genético.

En el diseño del programa de enfriamiento para el algoritmo del recocido simulado, existen cuatro parámetros que deben ser especificados. Estos son: Una temperatura inicial, una regla de cambio para la temperatura, el número de iteraciones a realizar a cada temperatura y el criterio de parada del algoritmo.

La literatura sugiere diferentes programas de enfriamiento que emplean muchos esquemas de actualización para la temperatura. Entre estos, son ampliamente utilizados algunos continuos y monótonos de paso a paso. Los esquemas de paso a paso emplean estrategias de enfriamiento bastante sencillas, un ejemplo es la regla de enfriamiento geométrico. Esta regla actualiza la temperatura según la ecuación 1.2.

$$T_{i+1} = c(T_i) \tag{1.2}$$

donde c es un factor de temperatura, una constante menor pero cercana a 1 (tomado de³)

³Traducido de [12]

Parte II

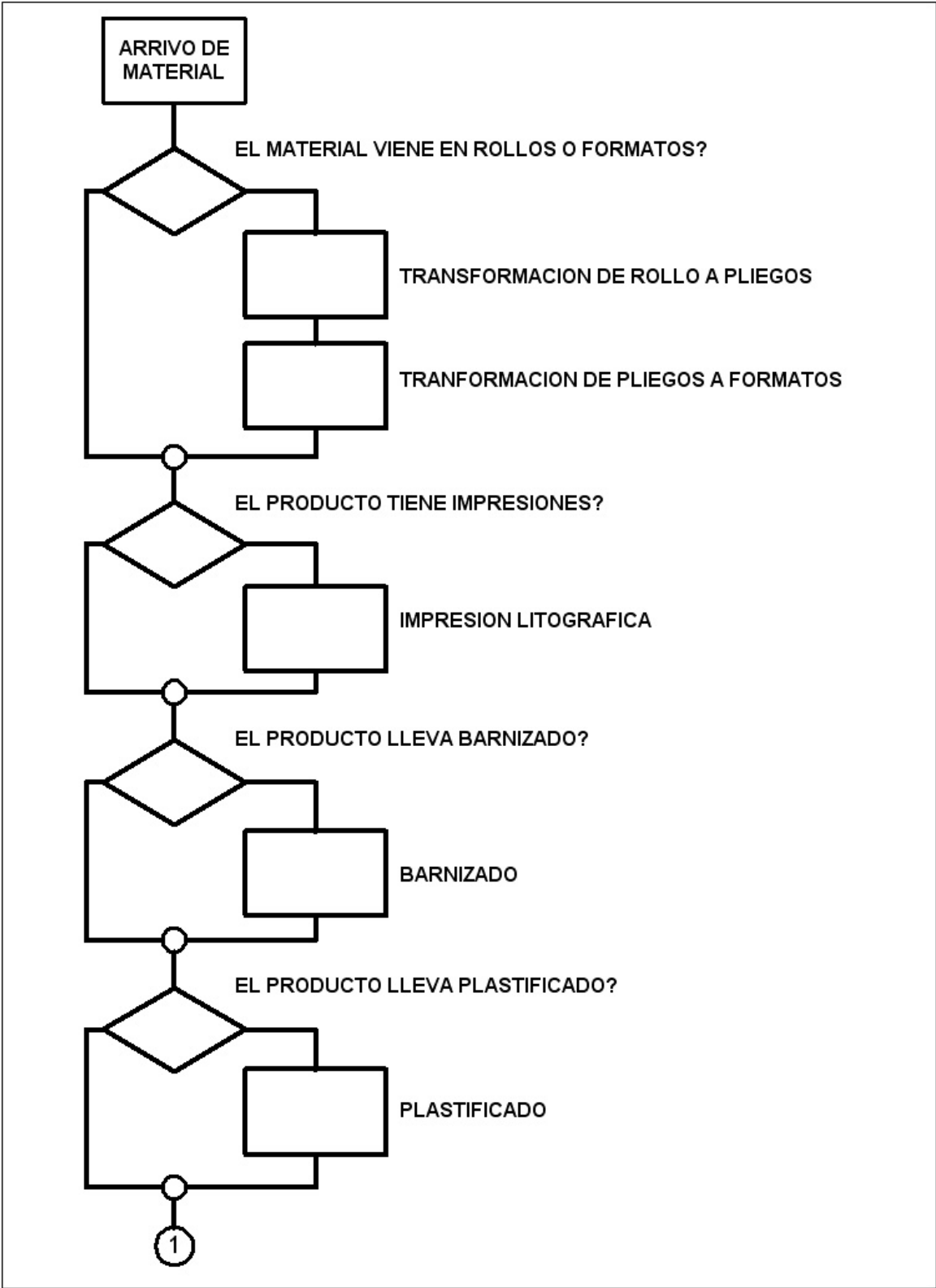
DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA EXPERTO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA

Capítulo 2

DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se describirá detenidamente el proceso de fabricación de empaques de cartón, caracterizando cada una de las actividades y subactividades que hacen parte de él.

La figura 2.1 ilustra el proceso a grandes rasgos y deja ver las relaciones lógicas básicas entre operaciones y especificaciones del producto, las que se explicarán detenidamente en cada uno de los numerales que hacen parte de este capítulo.



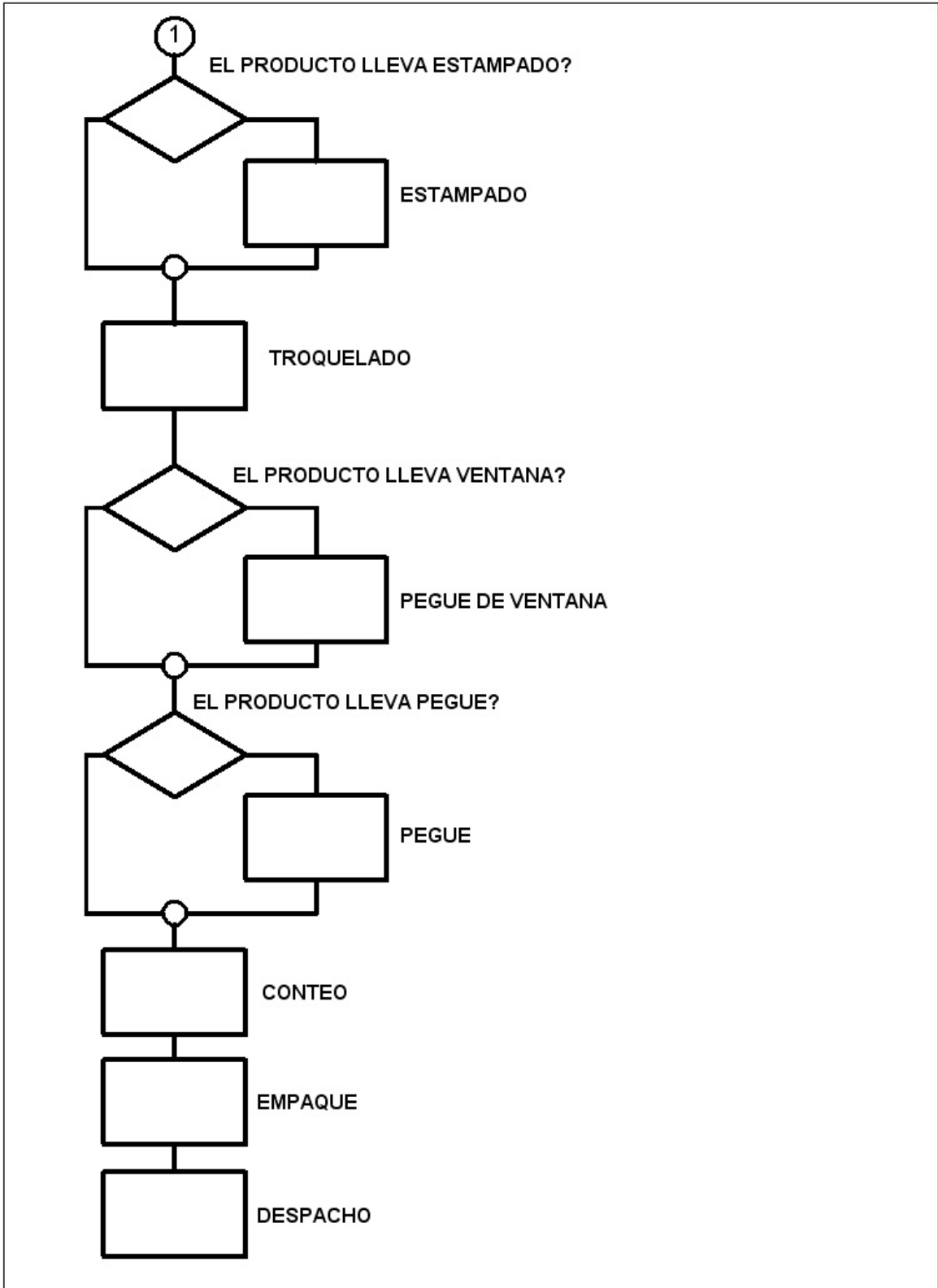


Figura 2.1: La figura muestra el diagrama general de actividades para la conversion de cartón en cajas plegadizas o impresos planos, considerando todos los tipos de configuración de productos fabricados por la empresa

La gran mayoría de procesos se encuentran divididos en actividades de preparación y producción. En el cuadro 2.1 se presenta el formato que será utilizado para la caracterización de cada uno de los sub procesos.

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	00000000	XXXXXXXX	XXXXXXXX
DESCRIPCIÓN:			

Cuadro 2.1: Formato de la tabla de caracterización de procesos

- OPERACIÓN** Nombre que se le ha dado a la operación o actividad en el desarrollo del proyecto. Es el mismo con el que se referencia en el sistema de medición de tiempos (ver el numeral 3.2).
- CÓDIGO** Número de 8 dígitos asignado a cada operación para fácil referencia en las bases de datos y en los algoritmos computacionales. los primeros 4 dígitos indican el proceso al que pertenecen, el 5 dígito indica si se trata de una actividad de alistamiento o de producción y los tres últimos el consecutivo dado por el sistema de medición de tiempos.
- TIEMPO** Tiempo de la operación o actividad calculado por el sistema de medición. Es el mismo que utiliza el algoritmo para hacer cálculos.
- TIPO** Tipo de tiempo, **CONSTANTE** para aquellas actividades cuya duración no depende en absoluto del tamaño del pedido y **VARIABLE** para las actividades en las que la cantidad de productos a fabricar influye en el tiempo gastado para realizarlas.

Los tiempos de todas las operaciones han sido suprimidos por XXXXXX por petición de la empresa.

2.1. EL APROVISIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

En los últimos años, la empresa ha trabajado fuertemente en la construcción de estrechas relaciones con sus proveedores, lo que le ha permitido trabajar con ellos en un sistema que si bien no llega a ser un justo a tiempo si se aproxima bastante a él en lo que tiene que ver con entregas en las cantidades requeridas directamente a la línea de producción.

Sin embargo algunas de las materias primas utilizadas por la empresa no se consumen en un volumen lo suficientemente alto para que funcionen con el esquema descrito anteriormente. Para este tipo de casos, se utiliza una estructura convencional de inventarios en la cual la empresa adquiere volúmenes superiores a los que va a consumir y almacena por algún tiempo el restante en sus bodegas.

En este orden de ideas las actividades de aprovisionamiento varían dependiendo del tipo de materias primas que se estén recibiendo; El cuadro 2.2 muestra un paralelo entre los dos sistemas de inventarios utilizados por la empresa.

ESQUEMA 1	ESQUEMA 2
Las materias primas son entregadas directamente a la línea de producción en las cantidades específicas para cubrir cada orden	El material es entregado a la bodega de la empresa en los volúmenes mínimos de venta establecidos por el proveedor
Las materias primas permanecen como máximo dos días en espera de ser procesadas	Las materias primas esperan en las bodegas por periodos de tiempo que varían dependiendo a la estacionarias y periodicidad de la demanda
Las materias primas son recibidas como formatos de trabajo, es decir listas para empezar el proceso del valor	Las materias primas son recibidas en bobinas y deben pasar por dos operaciones para ser convertidas en formatos de trabajo antes de que se les pueda añadir valor

Cuadro 2.2: Esquemas de aprovisionamiento de cartón

2.2. CONVERSION DEL CARTÓN EN ROLLOS A FORMATOS DE TRABAJO

Como se puede intuir de la explicación sobre el aprovisionamiento e inventario presentada en el numeral 2.1 se hace necesario en algunas órdenes de trabajo el iniciar el proceso de producción con la conversión del cartón de rollos a formatos de trabajo, para lo cual se realizan dos operaciones conocidas como Cortarrollo y Guillotina (nombre de las máquinas en las que se realizan) operaciones que a su vez se dividen en actividades tanto de preparación como de producción. El cuadro 2.3 describe las actividades de la operación de cortarrollo y el cuadro 2.4 hace lo propio con las actividades de guillotinado.

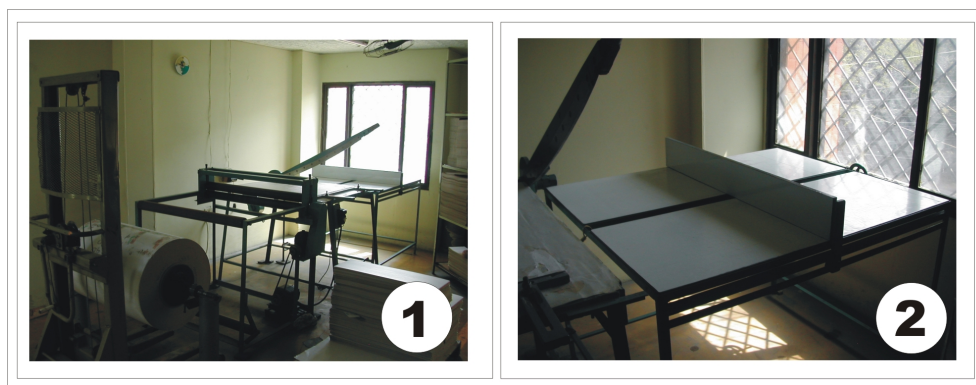


Figura 2.2: 1. Se observa la máquina cortarrollo con el montacargas utilizado para los cambios de bobina, la cuchilla y el sistema de desencoque. 2. Mesa de salida con la barra tope

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
MONTAJE DE BOBINA	01001002	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Utilizando un montacargas, el operario sitúa la bobina de cartón en el módulo de alimentación de la máquina cortarrollo y hace pasar el cartón por los rodillos desencocadores y los rodillos alimentadores			
PREPARACIÓN DE TOPES	01001003	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El operario, sitúa la barra tope en la bandeja de salida de la máquina, moviendo un pequeño volante que se encuentra al final de esta, después de medir sobre la mesa las dimensiones requeridas por la orden de producción; Una vez los topes han sido dispuestos, el operario lleva el numerador a ceros y se encuentra listo para iniciar la producción			
PRODUCCION	01002001	XXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: El motor de la máquina hace avanzar el cartón hacia la mesa de salida; El operario situado a un costado del equipo sujeta con su mano izquierda la cuchilla mientras con la derecha controla el avance del cartón. Cuando este llega al tope, la cuchilla baja realizando el corte.			
DESMONTE DE BOBINA	01002001	XXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: Una vez finalizada la producción el operario debe desmontar la bobina del módulo bien sea para continuar con el procesamiento de otra referencia o para finalizar del todo su trabajo. Al igual que en el montaje se utiliza el montacargas.			

Cuadro 2.3: Actividades del proceso de cortarrollo

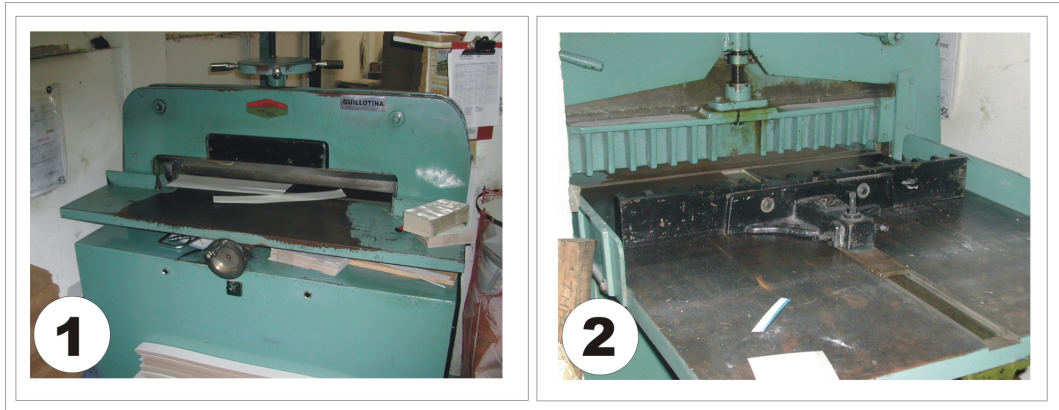


Figura 2.3: 1. Vista general de la máquina guillotina. 2. Tope corredizo en la bandeja de la máquina

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
TRANSPORTE DE MATERIAL	02001001	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: La máquina cortarollo se encuentra ubicada en el tercer piso de la planta en cuanto la guillotina se encuentra en sótano; Para transportar los pliegos hasta allí, se utiliza un diferencial retirado unos metros del lugar en que la máquina se encuentra lo que convierte el tiempo de transporte de los pliegos entre el ascensor y la guillotina en un tiempo considerable y por tal motivo en una actividad de guillotina que ha sido considerada dentro del análisis.			
PREPARACIÓN DE TOPES	02001002	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Al igual que en la operación de cortarollo en el guillotinado se deben ajustar dimensiones en la bandeja de la máquina antes de iniciar la producción.			
PRODUCCION	02002001	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El operario toma del lote una pequeña pila de entre 80 y 100 pliegos que coloca sobre la bandeja ceñida a los topes dispuestos, una vez el cartón se haya en posición, el operario gira un volante en la parte superior de cabezal que hace bajar una especie de tapia que asegura los pliegos contra la mesa para evitar su movimiento durante el corte. Presionado dos botones simultáneamente la cuchilla baja realizando el corte.			

Cuadro 2.4: Actividades del proceso de guillotinado

2.3. IMPRESIÓN LITOGRÁFICA

Como impresión litográfica conocemos al proceso de registrar en el sustrato(cartón) imágenes, fondos y textos mediante el contacto del formato de trabajo con un cilindro de caucho conocido como mantilla que es entintado por una plancha fotomecánica.

Dado el tipo de negocio de la empresa, este proceso puede considerarse como el gran responsable por el valor que se agrega en la conversión de cartón a empaques, pues los clientes en su gran mayoría buscan con sus empaques no solo darle protección a su producto sino transmitir una imagen

positiva de él, en lo cual la calidad de la impresión juega un papel primordial.

Esta es la etapa del proceso que más variables maneja y sin duda alguna el más complejo y difícil de modelar, no solo por dicha cantidad de variables sino también (y de hecho principalmente) por el alto grado de empirismo con el cual se realiza; de ahí que por muchos años a el negocio de la impresión y la litografía se conociera como el negocio de las artes gráficas, aunque en los últimos años dado el nivel de automatización en el proceso y al nivel tecnológico que ha alcanzado este nombre haya mudado al de industria gráfica.

En impresos y empaques D'Cartón la impresión offset está a cargo de dos máquinas e igual número de operarios. La maquinaria algo des actualizada pero aun en buen estado, data de los años 70 y su fabricante es la casa alemana ROLAND. El cuadro 2.5 presenta la ficha técnica de las máquinas ROLAND MIEHLE.

CARACTERÍSTICA	MAQUINA 1	MAQUINA 2
FORMATO DE CARTON	28cm x 37cm mínimo 60cm x 79cm máximo	25cm x 35cm mínimo 52cm x 70cm máximo
FORMATO DE IMPRESIÓN	27cm x 37cm mínimo 60cm x 79cm máximo	24cm x 35cm mínimo 50cm x 70cm maximo
MODELO	Serial 19896-3484 Series 208	Serial 15890-2674 Series 15
MANTILLA	81AC x 79AR Vulcan 4 lonas	78AC x 72AR 4 lonas
MOLETONES	8.5 - 9.0 (algodón)	8.5 - 9.0 (algodón)
MOTOR	Baumuller 220V a 0.9A	Baumuller 220V a 0.9A
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	3000 impresiones/hora	3000 impresiones/hora
IDENTIFICACIÓN DENTRO DEL SISTEMA EXPERTO	L1	L2

Cuadro 2.5: Características técnicas litográficas L1 y L3

Como se puede observar en el cuadro de especificaciones las dos máquinas impresoras difieren únicamente en el tamaño del formato de cartón y de impresión que manejan, por tal motivo el método explicado por el diagrama de la figura 2.4 es común a las dos estaciones de trabajo.

DIAGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES PARA LA IMPRESION LITOGRAFICA

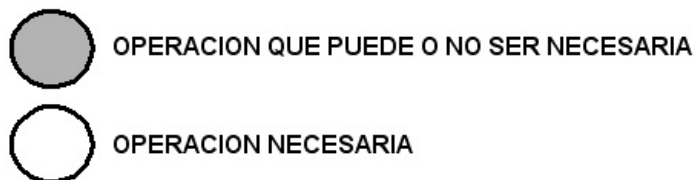
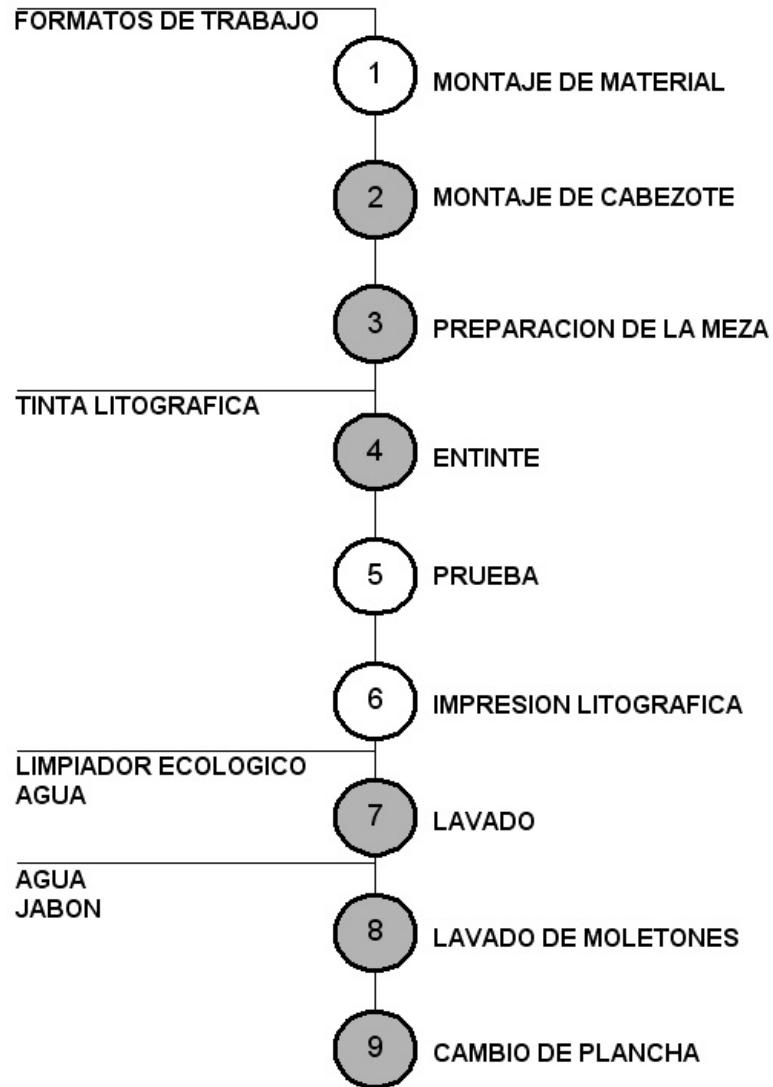


Figura 2.4: La figura muestra el diagrama general de actividades para la impresión litográfica, las operaciones que aparecen con un fondo gris, pueden o no ser necesarias dependiendo de la secuencia de productos que se vaya a fabricar, este fenómeno será explicado en detalle en el próximo capítulo (numeral 4.3)

El cuadro 2.6 describe las diferentes operaciones expresadas en el diagrama y presenta los tiempos de cada una de ellas (el sistema de medición de tiempos se explica con detenimiento en el numeral 3.2 página 51)

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
MONTAJE DE MATERIAL	03001001	XXXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: En esta operación el cartón que viene bien sea de la sección de guillotinado o directamente de la bodega del proveedor es localizado sobre la bandeja de alimentación de la máquina. La operación es realizada por el litógrafo, quien toma pilas de material, las lleva a una mesa auxiliar sobre la cual dobla los formatos en sentido opuesto a la concavidad que el cartón adquiere durante el tiempo que permanece en forma de rollo en las bodegas del fabricante, esta actividad recibe el nombre de desencocado. En la medida que el cartón va poblando la bandeja, el operario debe asegurarse de que este quede alineado con las guías de la parrilla de la máquina para asegurar un buen registro de impresión.			
MONTAJE DE CABEZOTE	03001002	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El cabezote es la parte de la máquina litográfica responsable por la alimentación del papel, este se compone de un juego de chupas que se mueven en diferentes sentidos siguiendo como guía unas regletas cilíndricas sobre las cuales están dispuestas. Las chupas se disponen en los extremos del formato y es su localización la que le da a la máquina los parámetros para coordinar la alimentación de cartón con la impresión de ahí la vital importancia de una buen montaje.			
PREPARACIÓN MESA	03001003	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: La mesa es una superficie inclinada a través de la cual el cartón se desplaza del modulo de alimentación al modulo de impresión mediante un sistema de bandas, cepillos y rodillos impulsores que deben ser dispuestos por el operario según el tamaño del formato de impresión que se trabaje.			
ENTINTADO MAQUINA	03001004	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: La plancha es entintada por una batería de 12 rodillos que transportan la tinta y la solución de fuente desde la parte superior del módulo de impresión y la parte inferior del mismo respectivamente. El tintero se encuentra ubicado en la parte superior del cabezote de impresión y está en contacto con un rodillo conocido como tomador; El operario vierte sobre el utilizando una espátula la tinta seleccionada para la impresión en la cantidad adecuada y luego activa la batería de forma que los cilindros restantes reciban del tomador la cantidad de tinta precisa que debe ser depositada en la plancha, la cantidad de tinta que pasa hacia el juego de rodillos es graduada por el operario mediante las clavijas del tintero			

PRUEBA IMPRESION	03001005	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Aunque el operario presta especial cuidado en la disposición del cabezote y la mesa, es necesario comprobar que el paso de los formatos esté en orden, es decir que las chupas del cabezote alimentador se encuentren coordinadas con los topes las pinzas del módulo de impresión, dando un paso armónico y sin tropiezos al material. Del mismo modo se debe comprobar el registro, es decir si la imagen, texto o fondo se sitúan correctamente dentro del material en el caso de la primera impresión o si cazan con el color anterior en caso de segundas terceras y demás impresiones. Cuando se encuentra alguna anomalía se ejecutan pequeñas correcciones con el fin de superar el problema y se ejecuta de nuevo la prueba.			
IMPRESIÓN	03002XXX	XXXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: Esta actividad no requiere descripción. Se refiere al paso de los formatos por el módulo de impresión registrando imágenes, texto y fondos según lo especificado en el diseño. Aunque el tiempo de esta actividad es constante por unidad el tiempo total de la operación varía según el tamaño del pedido. Los tres últimos dígitos del código de esta operación varían dependiendo a la referencia de la tinta de la impresión.			
LAVADO	03001006 03001007	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: La tinta que ha sido cargada en el tintero, y transportada por los rodillos no es consumida del todo por la impresión y aun así fuese, es necesario lavar tanto el tintero como la batería antes de iniciar con una nueva corrida de impresión. El procedimiento inicia con la colocación del babero el cual recoge toda la tinta que sale del tintero, luego el operario vierte sobre la batería un limpiador mientras los rodillos rotan a su máxima velocidad. Mientras el limpiador infiltra la batería, la tinta sobrante en la cuchilla del tintero es recogida por el operario con ayuda de una espátula para ser devuelta a su envase original y utilizada en impresiones posteriores. Cuando la secuencia de colores va de un pigmento oscuro a uno claro el procedimiento varía ligeramente pues es necesario ejecutar lo que se conoce como desperdicio de la máquina, que consiste en pasar por los entintadores una pequeña cantidad de la tinta clara que se va a utilizar y repetir el proceso de lavado; Esto con el fin de que el nuevo pigmento arrastre el viejo y no existan trazos de este en la nueva impresión.			

Cuadro 2.6: Caracterización de la actividad de impresión litográfica

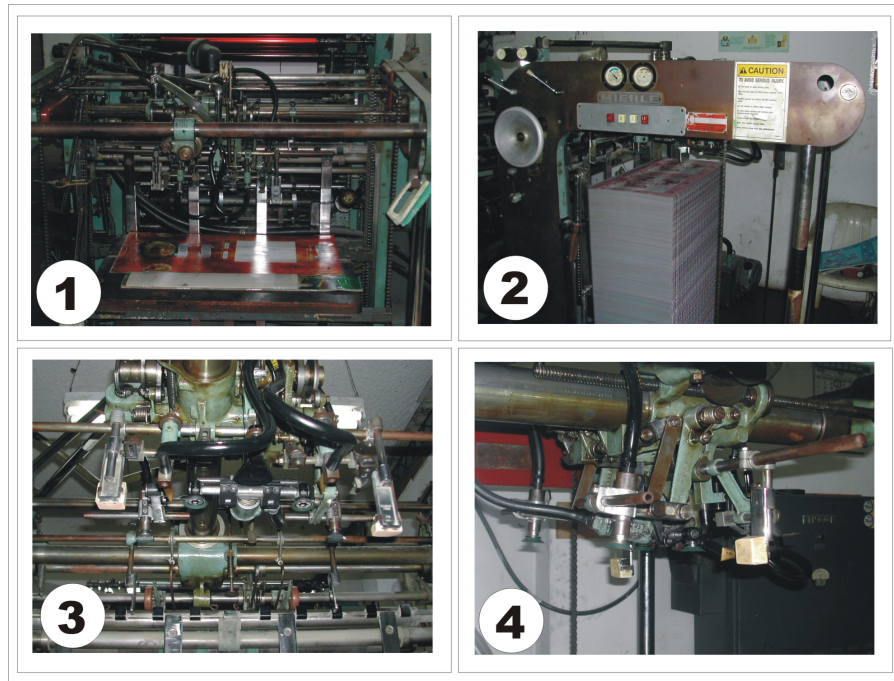


Figura 2.5: 1. Panorámica general del cabezote y la bandeja de alimentación 2. Vista lateral de la bandeja de alimentación cargada y lista para iniciar producción 3. Detalle del cabezote, se pueden ver las chupas y los topes que son dispuestos durante el montaje de este elemento 4. Vista lateral del cabezote

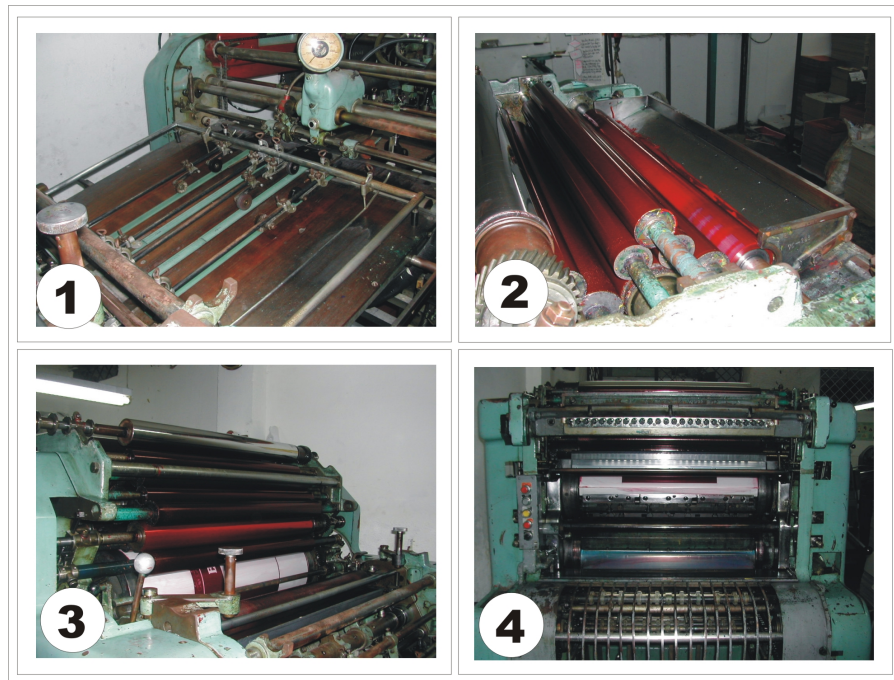


Figura 2.6: 1. Mesa de paso de material, comunica el modulo de alimentación con el de impresión 2. Vista superior del tintero y la batería de rodillos entintadores 3. Vista posterior de la batería de rodillos en el modulo de impresión 4. Vista frontal del modulo de impresión, se aprecian la plancha, la mantilla, la bandeja de salida de material y las clavijas del tintero en la parte superior

2.4. TROQUELADO

El troquelado es una etapa del proceso de fabricación de empaques de cartón en el cual por medio de una matriz y la presión ejercida por la máquina el cartón hasta ahora en pliegos toma formas definidas como dobleces y siluetas que le permiten convertirse en volúmenes o planos delineados.

En la empresa el proceso de troquelado se lleva a cabo en tres máquinas de diferente tipo y marca, sin embargo es preciso anotar que las matrices o troqueles en su gran mayoría son compatibles con cualquiera de ellas lo que resta restricciones al modelo (ver numeral 4.3).

La figura 2.7 contiene el diagrama de las actividades al interior del puesto de trabajo de una máquina troqueladora y es común a las tres estaciones de troquelado con las que cuenta la empresa, sin embargo la máquina identificada dentro del sistema experto como T4 cuenta con un juego de platinas intercambiables para el montaje del makrey. Por decisión gerencial las referencias de mayor rotación cuentan con una platina dedicada para cada una (ver Bases de datos auxiliares 3.4) lo que permite eliminar las actividades descritas en el diagrama como Retiro de antiguo makrey y montaje de makrey, sustituyéndolas por una única operación llamada cambio de platina.

CARACTERÍSTICA	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3
MARCA	Construida por la empresa	Chandler and Price Co	Hartford
MEDIDAS	1.37m x 1.54m	1.35m x 1.48m	2.8m x 2.30m
MOTOR	Siemens 220V	Westinghouse 220V	Westinghouse 220 5hp
FORMATO	67cm x 52cm	57cm x 41cm	63cm x 103cm
CODIGO	T2	T3	T4

Cuadro 2.7: Características técnicas troqueladoras T1,T3,T4

DIAGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES PARA EL TROQUELADO

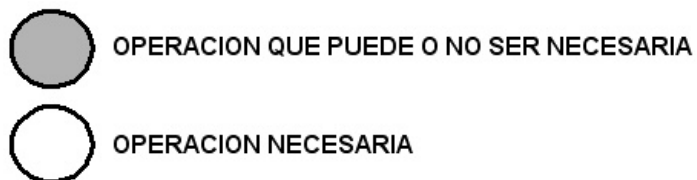
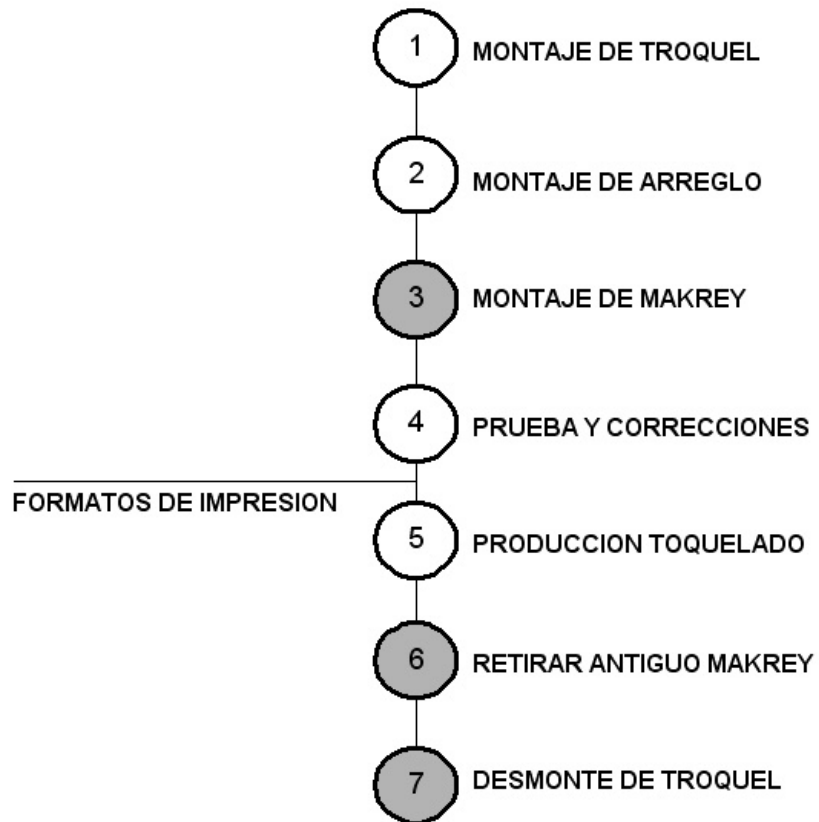


Figura 2.7: La figura muestra el diagrama general de actividades para el troquelado, las operaciones que aparecen con un fondo gris, pueden o no ser necesarias dependiendo de la secuencia de productos que se vaya a fabricar, este fenómeno sera explicado en detalle en el proximo capitulo.

La tabla 2.8 presenta el resumen para cada una de las actividades que componen el diagrama 2.7.

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
MONTAJE DEL TROQUEL	07001003	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El troquel es la matriz que da la pliegues al formato de trabajo, se compone básicamente de una tabla generalmente de triplex y cuchillas de diferentes tipos entre las que se encuentran perforadoras, cortadoras y dobladoras, las cuales se disponen sobre la superficie de la madera describiendo el contorno deseado. La matriz reposa sobre la parte superior de la mandíbula de la máquina y se sujeta a esta con tornillos en el caso de las máquinas T3 y T4 y por medio de piezas metálicas de relleno en el caso de la T1.			
MONTAJE DEL ARREGLO	07001005	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El arreglo es el nombre que se le da a un pliego de cartón con la forma de la matriz que se ubica debajo de la platina porta makrey con el fin de enfatizar la presión hecha por las mandíbulas de la máquina sobre las zonas de corte y dobles. Para su montaje el operario libera el tornillo que sujeta la platina a la mandíbula inferior y localiza debajo de esta el arreglo antes de reajustar el tornillo. Los arreglos se guardan en cajas de cartón y se almacenan para ser utilizados en próximos lotes de referencias que utilicen la misma matriz.			
MONTAJE DEL MAKREY	07001006	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El makrey o cama del troquel es la "hembra" de la matriz, sobre él se marca el espacio en el que entran las cuchillas durante el cierre de la máquina y es de vital importancia para dar forma al formato de trabajo. Esta es tal vez la operación que mas exige del operario durante el proceso de troquelado pues solo la experiencia del trabajador es el factor determinante en el logro de buenos cortes por parte de la matriz. El procedimiento comienza con la adhesión a la platina de un pliego de papel bond sobre el cual se pega uno de cartón de alto calibre, luego se produce un cierre de la máquina durante el cual las cuchillas del troquel marcarán el pliego de cartón en los puntos de impacto. El operario con ayuda de una cuchilla retira el material de los puntos creando así una cama en la cual reposará la cuchilla durante el troquelado. Una vez superado este paso, el operario procede a ubicar las guías de troquelado sobre la platina porta makrey.			
PRUEBA Y CORRECCIONES	07001007	XXXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Una vez tanto troquel y makrey (macho y hembra) han sido dispuestos en las mandíbulas de la máquina se debe ejecutar una prueba para comprobar la idoneidad del makrey y ejecutar correcciones de que generalmente consisten en cambios de presión de la máquina o rectificación de alguna de las guías. Aunque el tiempo tomado por la prueba y las correcciones depende de si existe o no una dificultad y de la magnitud de la misma, el estudio de tiempos ha permitido estandarizar el lapso de tiempo necesario para hacer dicha prueba para poder asignarlo como un tiempo constante a la preparación del proceso.			

PRODUCCION	07002001	XXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: Durante la producción se ubican sobre la mesa de entrada de material los formatos provenientes de impresión, barnizado o plantificado según la referencia, en pequeñas cantidades. El operario toma con su mano derecha un formato de la bandeja de entrada y con su mano izquierda uno ya troquelado de la platina porta makrey, trasladando el segundo a la mesa de salida y reemplazándolo en la platina con el sujetado en su mano derecha. El tiempo tipo de esta operación esta calculado por unidad procesada.			
RETIRAR MAKREY	07001001	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Terminada la producción, la máquina debe ser preparada para el siguiente trabajo, el makrey que sirvió de hembra para el troquelado de la referencia que acaba de ser procesada no sera el mismo requerido para la siguiente a menos que esta utilice la misma matriz lo que es un caso bastante fortuito (ver Restricciones operativas 4.3). El operario retira las guías de troquelado y humecta la superficie de la platina utilizando agua con la intención de ablandar el pegue del carton al metal al mismo tiempo que ayudado por una cuchilla arranca los trozos de carton y papel que formaron el makrey.			
DESMONTE DEL TROQUEL	07001002	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Siguiendo con la preparación para el proximo trabajo, el operario retira el troquel de la mandíbula superior de la máquina y lo devuelve a la estación temporal de troqueles donde reposan las matrices que han de ser utilizadas en a lo largo del turno. estación de la cual toma el nuevo troquel para reiniciar el proceso.			

Cuadro 2.8: Caracterización de la actividad de troquelado



Figura 2.8: 1. Troquel o Matriz de troquelado, 2. Makrey montado sobre la platina, se aprecian las guías de troquelado sobre la derecha y la parte inferior de la cuna, 3. Troquel y Makrey montados sobre las mandíbulas superior e inferior de la máquina, 4. Caja de carton después del troquelado

2.5. BARNIZADO

El barnizado tiene como objetivo aplicar sobre el cartón de un empaque una película de parafina que funcione como aislante entre el objeto (generalmente un alimento) y el cartón evitando que la humedad y/o la grasa se filtren en los poros de la superficie de la celulosa debilitando la estructura interna del material quitándole resistencia y haciéndolo lucir de forma poco apropiada en su exterior.

Aunque existen pocas referencias a las que se les aplica este tratamiento, era importante caracterizar este proceso para que pudiese ser incluido en el modelo de programación de operaciones pues la empresa actualmente busca la forma de dar mayor utilidad al equipo adquirido para este fin y no se descarta que en un futuro cercano crezca el número de productos que requieran este procedimiento.

El equipo es una máquina DERJOR de fabricación colombiana adquirida directamente al constructor hace un par de años, tiene un módulo de aplicación de barniz el cual se alimenta por una manguera transportadora que por gravedad lleva el espeso líquido de un tanque plástico ubicado a unos 2.10mt de suelo al rodillo aplicador en el cabezote de la máquina.

El producto entra por la parte posterior del equipo y pasa entre dos rodillos que le aplican la capa y lo liberan sobre una banda transportadora que se mueve a lo largo de un túnel de secado de unos 2mt de longitud que usando una batería de lámparas ultravioleta en una primera etapa y un soplador de aire helado en la segunda fija la película sobre el cartón.

Al salir del túnel, el producto es depositado por la banda sobre una bandeja de salida donde se acumula hasta que el operario determine desplazar la pila a otro lugar y continuar con su trabajo.

La tabla 2.9 detalla las actividades que componen el proceso.

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
Montaje máquina	04002001	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Aunque se compone de elementos, esta actividad fue tomada como única y no fue descompuesta para su análisis dada la corta duración de cada elemento. El proceso de preparación de la máquina se da sin pieza y consta de dos etapas básicas, el cargue del barniz en el tanque y ajustar la presión de la máquina. En la primera el tanque es situado sobre el suelo, en su interior se vierte el barniz, se ajusta sobre el su tapa y es subido soporte nuevamente. En la segunda usando unas perillas el operario cierra el espacio entre los dos rodillos			
Transporte Inicial Material	04002002	XXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: Barnizado es la única operación en la que los tiempos de transporte entre la estación precedente y el que ejecutará la siguiente son considerados dada la distancia de mas de 15mt de que debe recorrer el cartón al que se le ha de aplicar la película. El transporte es sencillo, el operario toma el material en la estación precedente y lo lleva sobre su hombro o espalda hasta la mesa de alimentación de la barnizadora.			

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
Producción	04001001	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: El material se encuentra ubicado sobre la mesa de alimentación, el operario se ubica detrás de ella y toma los formatos intercalando el uso de las manos y depositando el cartón en la union de los rodillos			
OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
Transporte final material.	04002003	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Una vez el barniz ha sido aplicado sobre el producto, este debe regresar al piso del taller donde se ubican las otras maquinas para seguir con su flujo de producción. El método no cambia respecto al transporte inicial, el operario carga sobre su hombro o espalda el material y deposita en un espacio dedicado al producto en proceso en la planta principal			
OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
Lavado de máquina.	04002004	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: Cuando la producción ha terminado y se ha efectuado el transporte del material de regreso a la planta principal, el operario efectúa la limpieza de la máquina en caso de que no deba ser utilizada inmediatamente en otra referencia			

Cuadro 2.9: Caracterización de la actividad de barnizado



Figura 2.9: 1.Cabezote barnizador y controles electrónicos. 2.Perfil de la máquina, se aprecia el cabezote y el túnel de secado. 3.Bandeja de salida de cartón. 4.Detalle del túnel de aire helado

2.6. DESCARTONE

Esta sencilla actividad se realiza manualmente y no requiere de tiempos de alistamiento por lo cual no ha sido dividida en elementos ni requirió de un análisis tan profundo como las anteriores. La tabla 2.10 describe la actividad de forma general

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
MONTAJE DEL TROQUEL	07001003	XXXXXXX	CONSTANTE
DESCRIPCIÓN: La actividad está a cargo de los auxiliares quienes toman los formatos ya troquelados y sujetando pequeñas cantidades (de mas o menos 100 formatos dependiendo de la referencia) retiran los sobrantes de carton cortados durante su paso por la matriz y los depositan en los sacos recolectores de reciclaje. El tiempo de esta actividad fue prorrateado por la cantidad de formatos descartada en el intervalo de tiempo medido.			

Cuadro 2.10: Caracterización de la actividad de descartone

2.7. PEGUE

Este es otro de los sub-procesos que se ejecutan manualmente en la empresa. La inmensa mayoría de los productos fabricados por la compañía son cajas de diversas utilidades, lo que significa que son volúmenes huecos en cuyo interior se guardan o transportan diferentes tipos de bienes.

En todos los pasos del proceso hasta este punto, la unidad de transferencia es un formato de trabajo, es decir hojas planas sin ningún tipo de volumen interior. El principio de la conversión de estas hojas o formatos de trabajo en volúmenes es la unión de los extremos en la dimensión de la base del empaque o en alguna de las correspondientes a los laterales de la caja. Para mantener unidos dos extremos de un formato se usan dos tipos de juntas; la primera consiste en sistemas de sujeción como orejas y pestañas en el cartón y la segunda en fijar los dos extremos utilizando algún tipo de adhesivo.

Aunque los criterios gerenciales establecen que en el cumplimiento del objetivo financiero de la empresa es preferible utilizar los sistemas de sujeción, no siempre es posible hacerlo bien sea porque según los requerimientos técnicos del producto es preciso utilizar la fuerza de una junta con adhesivo, porque el diseño estético del producto así lo demande o simplemente por orden directa del cliente.

En estos casos, el flujo del producto por el taller lo lleva a la sección de pegue donde manualmente un operario aplica el adhesivo sobre el cartón y luego utilizando los pliegues dados en el troquelado junta los extremos que sean necesarios ejerciendo luego presión sobre ellos para facilitar la unión.

Existen tres tipos de pegue, los pegues de pestañas, los laterales y los de ventanas. La tabla 2.11 hace una breve descripción de cada uno de ellos.

OPERACION	CODIGO	TIEMPO	TIPO
PEGUE DE PESTAÑAS	08002001	XXXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: En algunas referencias el tamaño del formato de trabajo de un producto excede el máximo de las máquinas impresoras, cuando esto ocurre el formato se parte en dos y se trabaja de forma independiente, para ser unido nuevamente al final del proceso. Para lograr esta union se usa un pegue de pestañas. La pestaña es un excedente de cartón dejado intencionalmente en uno de los formatos. El adhesivo se aplica sobre él donde luego recalca el otro formato finalizando el proceso. El método utilizado por el operario es bastante artesanal. Una pila de formatos se toma del lote de transferencia y se extiende sobre la mesa de pegue dejando acceso a sus pestañas (como si se tratase de una baraja de naipes durante un juego) luego toma una brocha con la cual aplica el pegante sobre las pestañas de toda la pila en solo un movimiento. Luego toma uno a uno los otros pliegos y los coloca sobre el area embadurnada realizando el pegue.			
PEGUE DE PESTAÑAS	08002001	XXXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: El pegue lateral consiste realmente en dos pegues diferentes, uno sobre el costado de la caja y otro sobre la base de la misma. Combinados convierten un formato en una caja plegada que puede convertirse en un volumen con la aplicación de fuerza en las puntas.			
PEGUE DE PESTAÑAS	08002001	XXXXXXXX	VARIABLE
DESCRIPCIÓN: La ventana como su nombre deja intuir, se trata de una entrada visual al interior de la caja, muy utilizada en los sectores de dulcería y confec-ciones, la separación entre el interior del empaque y el medio, está a cargo de un trozo de acetato translúcido cuyas dimensiones exceden en algunos milímetros los de el espacio en el cartón, milímetros que son utilizados como area de pegue. El procedimiento es sencillo, el operario tiene sobre una bandeja a su lado el deposito de adhesivo, un sello de caucho es humectado con la sus-tancia y aplicado sobre el cartón creando una linea de adhesivo a milímetros del perímetro de la ventana; El operario toma el acetato y lo ubica suavemente sobre la ventana en contacto con el pegante ejerciendo presión sobre él.			

Cuadro 2.11: Caracterización de la actividad de descartone

Capítulo 3

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

Cualquier sistema experto y cualquier modelo de optimización basan su buen funcionamiento en el manejo de la información, de ahí la necesidad de diseñar sólidas bases de datos que contengan toda la información que el sistema o el modelo pueden llegar a requerir sin hacerse muy pesadas, ni perder agilidad en la búsqueda.

Esto representó sin duda alguna uno de los mayores obstáculos en el diseño de la arquitectura pues, era necesario identificar las necesidades del sistema y del modelo antes de poder diseñar las diferentes bases de datos al mismo tiempo que para la construcción del modelo era necesario saber con que información se contaba, luego las dos cosas tuvieron que ser afrontadas de forma paralela algo inusual en el desarrollo de sistemas informáticos, pero que sin duda alguna permitió la mutua retroalimentación entre el módulo de información o la base de hechos y el motor de inferencia.

Además de las dificultades descritas en el párrafo anterior, por tratarse este de un sistema que será utilizado por diferentes usuarios era necesario que la interface del usuario fuera lo más amigable posible y que tanto el ingreso como la consulta de información pudiesen ser realizados por cualquier persona ajena al desarrollo del proyecto sin mayores dificultades.

Dado el escenario, se tomó la decisión de construir las bases de datos utilizando hojas de cálculo de Excel y programación en Visual Basic, una combinación adecuada entre la simplicidad en el manejo de VB, el entorno sencillo y las funciones estadísticas y matemáticas propias de Excel.

En los siguientes numerales de esta sección se describirán detenidamente cada una de las bases de datos que conforman el sistema, se explicarán los campos de información que las componen y se presentará la interfase de usuario diseñada en cada caso al igual que una leve descripción del proceso de ingreso y consulta de los datos contenidos en los registros.

3.1. BASE DE DATOS DE PRODUCTOS

El negocio de D'Carton está enfocado al trabajo sobre pedido y los productos son únicos y exclusivos de cada uno de los clientes, es por esto que en la actualidad se cuenta con mas de 200 referencias codificadas en el sistema contable de la empresa; Cada una de ellas difiere en una o mas características que van desde las materias primas con las que se fabrican hasta el número de unidades por paquete que debe ser entregado al cliente según este lo requiera.

Como es apenas lógico, las especificaciones técnicas de un producto son las que determinan el proceso que es necesario seguir para transfórmalo de materias primas a bienes comerciables, por tanto fue de especial importancia el conocer de ante mano como afecta cada una de las variables en la configuración del producto las operaciones de producción en cuanto a actividades de preparación y producción se refiere.

A continuación se presenta una tabla con las variables de especificación escogidas para la base de datos y su función dentro de la arquitectura.

Código	El código es la identificación del producto en el sistema experto, es el único criterio de búsqueda en base de datos adoptado. Se compone de 5 dígitos y es el mismo asignado por el sistema de facturación cuando se ingresa un nuevo producto al sistema, este hecho permite que el producto sea identificado en todas las instancias de la empresa (producción, contabilidad, etc) bajo con el mismo nombre haciendo los sistemas integrables en un futuro.
Cliente	Aunque esta información no es relevante para el sistema experto, se incluyó en la base de datos con el fin de evitar digitaciones no necesarias en el momento de diligenciar una orden de producción y como ayuda visual para los operarios que manipulan dicho documento.
Dimensiones	Al igual que la referencia, las dimensiones de un empaque sirven para su identificación entre el personal de producción y fue tenido en cuenta dentro de la base de datos por las mismas razones, sin embargo combinadas ofrecen un modo de verificación de que el producto que está siendo fabricado es el mismo que ha sido ordenado.

Referencia	Durante años se ha manejado en la empresa el identificar a un producto por su "referencia" un nombre asignado no sistemáticamente a un producto por el jefe de producción y con el cual es conocido entre operarios y personal administrativo. Aunque la referencia queda desvirtuada con la nueva identificación del producto a través de un código, se llegó a la conclusión de que su aparición dentro de la información básica de la orden de producción era necesaria para la transición de un sistema a otro mientras los operarios y el personal de producción se habituaban a las nuevas reglas.
Cartón	El cartón es la materia prima básica de la fabricación de empaques en DCartón. Existe de varios tipos y marcas, con diferencias de calidad y por supuesto precios (ver Base de datos de materias primas 5.1.1) lo que lo convierte en una de las variables claves de decisión dentro del modelo.
Calibre	Es una de las características del cartón, se mide en mm y de él dependen importantes propiedades físicas del material como su resistencia (ver Base de datos de materias primas 5.1.1 página 79).
Impresiones	El número de impresiones dictamina el número de pasadas de una referencia por la estación de litografía. variable clave para el funcionamiento de la arquitectura y criterio de decisión en la adopción del precio de venta del producto.
Plancha	Al igual que con los troqueles y las tintas, se decidió codificar cada una de las planchas litográficas para poder así asociarlas al código de un producto. Los beneficios al igual que con los otros dos, pasan por la rapidez en la preparación de las órdenes de producción y en el cálculo de los tiempos de alistamiento entre referencias (5.1 página 79)

Cortes	<p>Como se ve en el diagrama general del proceso (Numeral 2 página 24) el primer paso en el proceso de transformación de materias primas en empaques de cartón es la conversión del material de rollos en formatos de trabajo. Esto se puede lograr de diferentes formas, utilizando distintos tipos de rollo y diseñando diversos cortes. Los cortes adecuados para cada referencia se deciden con base no solo en las dimensiones del empaque que está siendo fabricado sino también y principalmente con base en un análisis de costos que busca eliminar el desperdicio en el corte. Después de analizar en compañía del experto encargado de este tema en la empresa, se tomó la decisión de definir máximo tres posibilidades de corte por referencia; Es decir, la base de datos fue diseñada y alimentada con un corte principal por producto y uno o dos alternos en aquellas referencias en que los costos lo permitieran.</p>
Troquel	<p>Como se explicó detenidamente en la caracterización del proceso de troquelado (2.4 página 36) el troquel es la matriz con la cual se dan formas definitivas a los empaques. Este puede ser exclusivo de una referencia o compartido entre varias. Para lograr una mayor organización en este sentido, se tomó la decisión de codificar los troqueles y almacenarlos en dos estancias, la primera el almacén general en el que se encuentran todos y cada uno de ellos organizados por código en estantes de rápido acceso y otro la estación temporal en piso mismo del taller donde son ubicados los que serán o fueron utilizados en la producción de la semana. El trabajo de trasladarlos de un sitio a otro está a cargo de un auxiliar de producción. La codificación de los troqueles ha servido para reducir los tiempos de selección de las matrices y ganar organización en las instalaciones de la planta. Para mas detalles consulte bases de datos auxiliares 3.4 página 60.</p>
Adhesivo	<p>Algunos de los productos producidos por la empresa requieren de un pegue que se puede hacer con distintos tipos de adhesivo dependiendo del tipo de empaque se se realiza y algunas características como el plantificado o el barnizado. Aunque esta información no tiene relevancia en la secuenciación de las actividades, si es importante en la preparación de la orden de producción.</p>

Congelados	Funciona de la misma forma que el antigraso pero su función es proteger las paredes exteriores del empaque del aire condensado que se ubica sobre ellas durante el tiempo que dura congelado.
Tinta	Buscando también la estandarización, se tomo la decision de construir una base de datos con las referencias de las diferentes tintas litográfica utilizadas por la empresa y asociar cada referencia a una o varias de ellas (Bases de datos auxiliares 3.4 página 60). Esto facilita al igual que la codificación de los troqueles, la preparación de las ordenes de producción al mismo tiempo que da información necesaria para el calculo de los tiempos de alistamiento entre referencias en el algoritmo de secuenciación de actividades que maneja el software (5.1 página 79)
Antigraso	El antigraso es una película de barniz que alista se esparce sobre la superficie interior del cartón para evitar que elementos grasos como el aceite hagan contacto con el exterior de del empaque dañando la impresión y debilitando el material, es importante tanto como información para la orden de producción como para la secuenciación de las actividades el saber si el producto pasa o no por esta operación.
Plastificado	El plastificado como su nombre deja intuir es la aplicación de una capa de polímeros sobre el cartón se se utiliza bien sea para proteger la parte externa o interna del empaque de los líquidos que puedan atacar el carton

La interface de usuario requería una especial atención dada la poca preparación en informática de las personas que han de interactuar con el software, la idea de la empresa es que cualquier miembro del staff pueda tanto consultar el registro de productos como incluir nuevas referencias con todas sus características.

Se pensó en distintos tipos de formularios para el ingreso y consulta de la información; Se decidió diseñar una hoja de especificaciones con toda la información requerida, que mas tarde fue digitalizada y a cuyas celdas se asociaron los campos de la base de datos. La figura 3.1 muestra el encabezado de la hoja de especificaciones diseñada para la captura de información.



Figura 3.1: 1. Encabezado de la hoja de especificaciones a través de la cual se ingresa y consulta información en la base de datos de productos

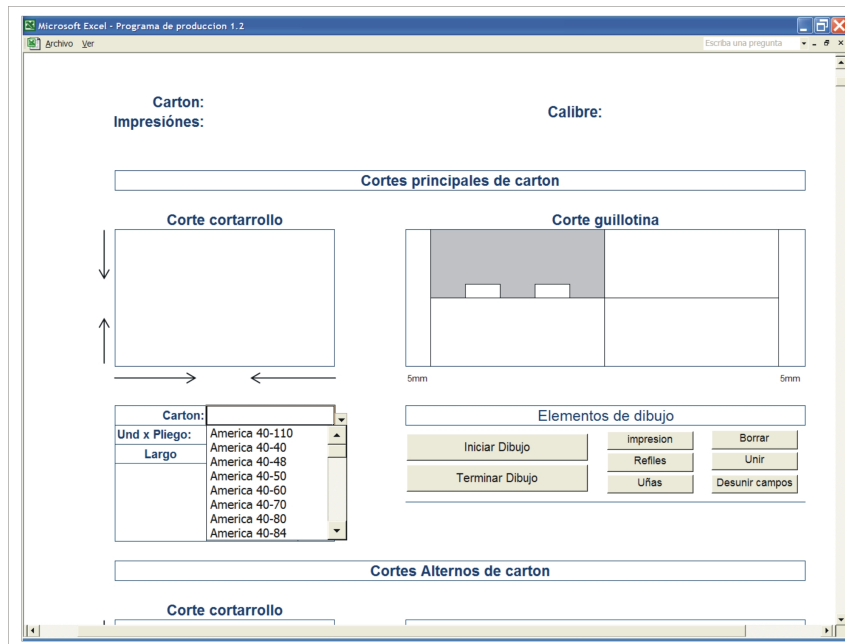


Figura 3.2: 1. Herramientas de dibujo y menus des plegables hacen mas fácil el ingreso de la información y evitan errores en la digitación de nombres o valores que referencian campos de otras bases de datos (ver bases de datos de materia prima pag79 y bases de datos auxiliares pag60)

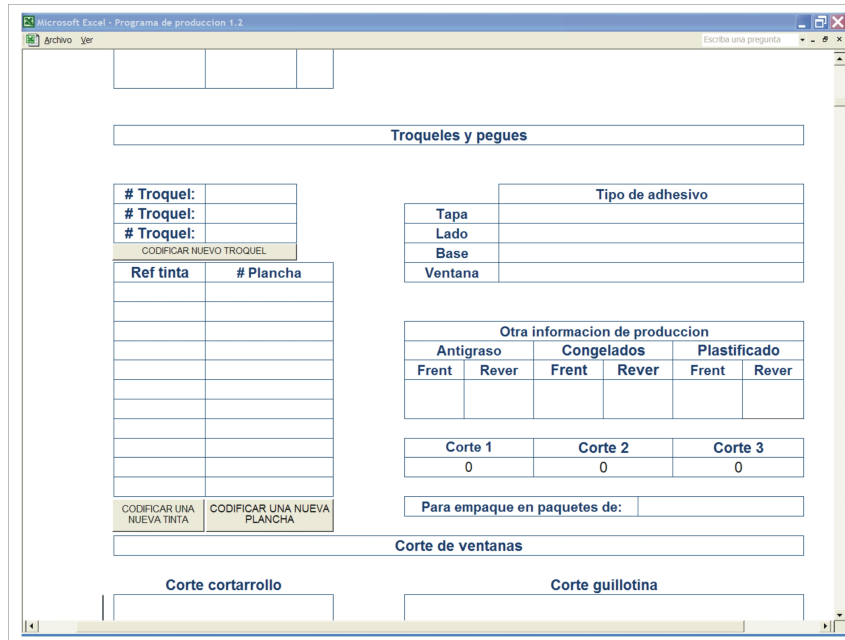


Figura 3.3: 1. Botones en pantalla permiten el acceso a las bases de datos auxiliares para facilitar el cruce de información (numeral 3.4 página 60)

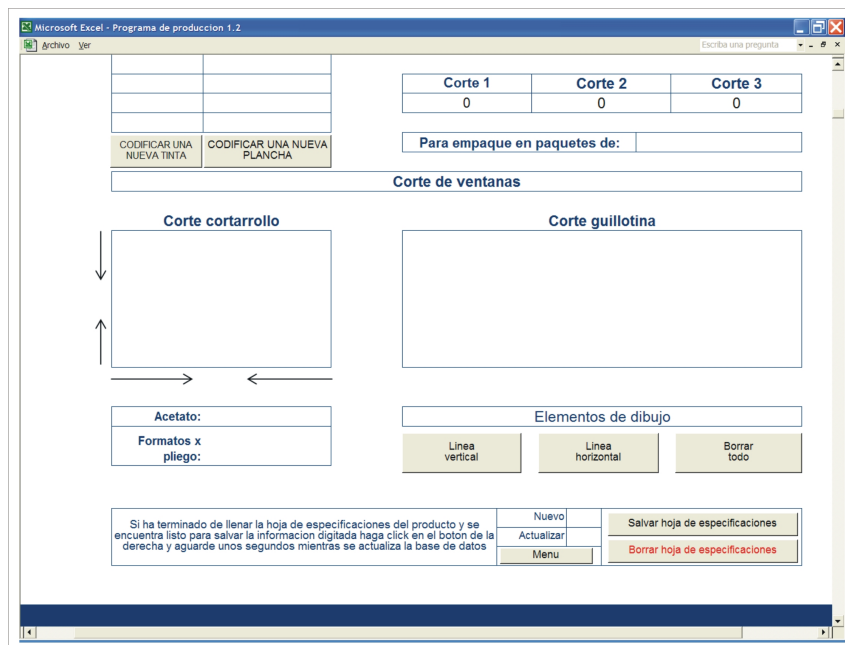


Figura 3.4: Una vez se diligencia la hoja de especificaciones de un producto, esta se guarda en la base de datos, es posible actualizar o corregir errores en hojas guardadas con anterioridad o borrar de la base de datos la hoja que esta siendo consultada.

3.2. BASE DE DATOS DE OPERACIONES Y TIEMPOS DE PRODUCCIÓN Y ALISTAMIENTO

Los datos sobre tiempos en operaciones de producción y alistamiento son de vital importancia en la secuenciación de actividades pues son la principal fuente de información de cualquier modelo de este tipo.

En DCartón no existía ningún tipo de registro que permitiera determinar con un mínimo nivel de confianza el tiempo requerido por cada una de las actividades que componen los diferentes procesos en la empresa, lo que hizo necesario emprender un estudio de este tipo que arrojara datos confiables.

Se evaluaron diferentes alternativas de consecución de la información que, la primera como era apenas lógico fue la posibilidad de realizar un clásico estudio de tiempos por cualquiera de las técnicas desarrolladas a lo largo de la historia para tal fin. Sin embargo escudriñando más a fondo en las necesidades de información a mediano y largo plazo de la empresa y llevando la arquitectura a niveles de integración con otras aplicaciones (como la estructura de costos y la estructura salarial) superiores a los hasta ese momento pensados, se tomó la determinación de diseñar un sistema de medición de tiempos auto actualizable que brindara información día a día, referencia a referencia y operario a operario de los tiempos requeridos en cada una de las actividades del sistema de producción de la compañía.

La información resultante de la implantación del sistema, no solo ha servido en esta investigación, sino que ha sido de gran utilidad en un proyecto que se desarrolla actualmente y que busca establecer en la empresa una estructura de costeo basado en actividades ya que brinda la posibilidad de extraer cargas de tiempos por operario a cada una de las referencias fabricadas en un periodo de producción, dato clave en el cálculo del costo unitario real del producto en esa corrida; De igual forma se tiene proyectado que la información arrojada por el sistema de medición de tiempos sea la base para el desarrollo de una aplicación que calcule las partidas salariales a pagar por concepto de unidades producidas y horas extras.

La metodología seguida en el desarrollo consta de 4 puntos básicos explicados a continuación.

1. Estudio y estandarización del método de producción.
2. Diseño del método y las herramientas de medición de tiempos .
3. Socialización del método adoptado con los funcionarios del area de producción.
4. Diseño y programación del software para el manejo de la información.

3.2.1. Estudio y estandarización del método:

Este paso buscaba identificar plenamente el método utilizado en cada uno de los sub procesos de producción, lo que fue útil para determinar los elementos que componen cada sub proceso, las restricciones de secuencia, la división de las actividades en actividades de producción, actividades

de alistamiento sin material y actividades de alistamiento con material y tomar una pre muestra de los tiempos de cada una de ellas.

Para alcanzar los objetivos de este paso, se recurrió a entrevistas con el personal de producción y filmaciones que permitieron elaborar los diagramas de flujo presentados en las caracterizaciones de los procesos (Sección 2) que posteriormente fueron aprobados y adoptados como estándar por los diferentes operarios.

3.2.2. Diseño del método y las herramientas de medición de tiempos:

Desde la concepción del sistema se planteó que este debía ser actualizado día a día, para lo cual se recurrió a los mismos operarios como instrumentos de medición de los tiempos. se diseñaron planillas personalizadas y se dotó a cada uno de ellos con una tabla sobre la cual se dispuso un cronómetro para que fuera cada uno de ellos quien tomara el tiempo de sus actividades. Tiempos que son corroborados por mediciones aleatorias realizadas por el jefe de producción.

Vale la pena hacer un pequeño paréntesis para discutir la validez estadística de estas mediciones, pues a priori se podría intuir que el hecho de que sea el operario quien tome su propio tiempo podría recalar en inexactitudes y sesgos en la medición lo que es bastante probable, sin embargo el gran número de mediciones (mas de 500 por año) suplen esa inexactitud y dotan la información de toda la credibilidad necesaria para ser utilizada en cualquier tipo de estudio sea de secuenciación, costos o salarios. La ecuación 3.1 [10] muestra el número de mediciones que dada la premuestra ¹ deberían tomarse para obtener medias de tiempos con un error del 5% en una operación de las de mayor variabilidad.

$$n = \left(\frac{st}{k\bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{527 * 0,9913}{0,05 * 951} \right)^2 = 120,70 \approx 121 \quad (3.1)$$

Como la ecuación 3.1 muestra, las mediciones necesarias para obtener tiempos estadísticamente aceptables son muy inferiores a las que el sistema permite del modo en que fue concebido, lo que hace evidente que una eventual imprecisión en la medición está cubierta por la cantidad de observaciones.

Como se mencionó anteriormente, el instrumento de recolección de datos utilizado es una planilla que contiene los siguientes campos:

¹Por secreto industrial los datos de tiempos obtenidos tanto en la premuestra como en el estudio no son publicables

HORA DE INICIO	Hora en el reloj dispuesto en la parte superior de la tabla en la que se inició la operación.
HORA DE FINALIZACION	Hora en la que terminó la operación.
OP NUMERO	Número de la orden de producción que se trabajó en el intervalo de tiempo.
CONTEO	Número de unidades procesadas en ese intervalo de tiempo
COD OPERACION	Código de la operación en el sistema experto.
OBSERVACIONES	Cualquier tipo de información adicional. Cuando un ciclo es anormal debe registrarse la causa en esta casilla.

Además de los campos anteriores, contiene información básica como el nombre del operario, el turno en que se trabajó, la máquina y la fecha.

3.2.3. Socialización del método adoptado con los funcionarios del area de producción:

Para poner en conocimiento el nuevo método se hizo una reunion con el personal de producción donde se explicó el objetivo que se perseguía con la implantación del nuevo sistema, los alcances y limitaciones del mismo y el procedimiento de llenado de las planillas, al mismo tiempo que les fueron entregados las planillas, tablas y cronómetros. Durante las dos primeras semanas de funcionamiento del sistema hubo un acompañamiento permanente con función de retroalimentación que sirvió para corregir errores en la personalización de la planillas y se solucionaron todo tipo de dudas surgidas en el piso del taller.

3.2.4. Diseño y programación del software para el manejo de información:

Dados los objetivos planteados en el diseño del método de medición de tiempos, era necesario crear una herramienta que aterrizará la información consignada en las planillas por los operarios y que permitiera que analizarla de diferentes formas y constituir con la base de datos que sustente la arquitectura de programación de la producción.

El software cuenta con tres módulos agrupados en un menú principal y operados por medio de botones en pantalla y menús des plegables (figura 3.5).

- Añadir una actividad a la base de datos
- Ver los registros de tiempos para una actividad
- Ingresar una planilla de tiempos

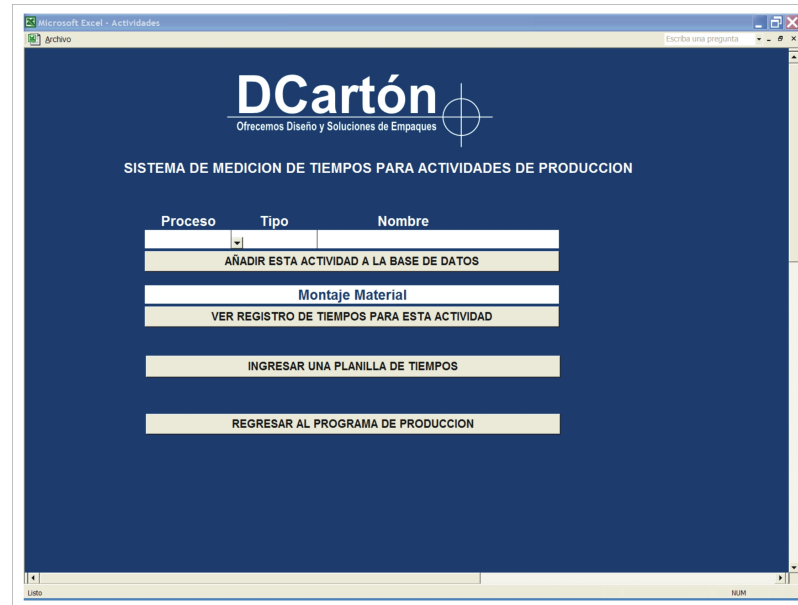


Figura 3.5: Vista del menu principal del sistema de medición de tiempos

El funcionamiento del software es muy sencillo, al final de la jornada de trabajo, el jefe de producción recoge las planillas de cada uno de los operarios; Utilizando el enlace en el menu principal del programa de producción (5.2) abre el sistema de medición de tiempos; Haciendo click en Ingresar una planilla de tiempos el software presenta la version digital de una planilla (Figura 3.6) la cual debe diligenciar siguiendo fielmente la version física del documento.

Para hacer mas rápido el diligenciamiento del registro, el digitador puede ingresar las horas llamando una subrutina con el método abreviado Ctrl + d Cuadros de dialogo emergentes le preguntaran la hora y luego los minutos llenando la respectiva casilla con la hora bien sea de inicio o finalización.

Cuando el registro se encuentre lleno, se deben cambiar los códigos de las operaciones por los códigos que reconoce el sistema experto, esto se consigue haciendo click en el botón cambiar códigos.

Los códigos asignados a los operarios para sus actividades difieren de los interpretados por el sistema con el animo de simplificar su memorización por parte del personal.

Una vez cambiados los códigos, la base de datos de tiempos se debe actualizar haciendo click en alimentar estadísticas. Una subrutina recorre la planilla identificando el código de la operación y envía los registros de tiempo, operario, fecha, orden de producción y cantidad a la hoja correspondiente a la actividad actualizando automáticamente el tiempo de esta operación (figura 3.7) en la base de datos del sistema experto y del sistema de costeo.

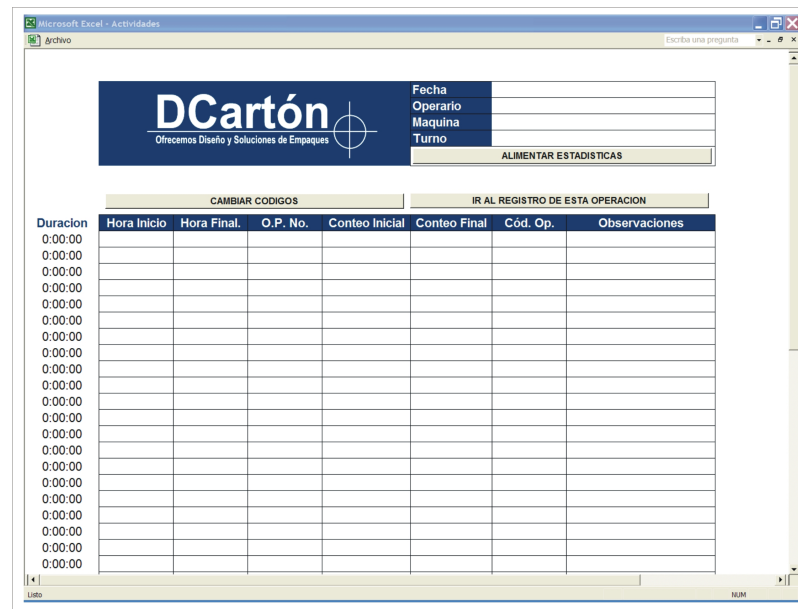


Figura 3.6: Version digital de la planilla de producción

La hoja de registro para cada operación (figura 3.7) contiene suficiente información para calcular los tiempos por referencia (lo que escapa a los alcances de este proyecto) por operario (útil en la evaluación de desempeño y en el cálculo de bonificaciones por producción) proyectos que ya están siendo ejecutados por la empresa.

Aunque la alimentación de la base de datos del sistema experto se hace de forma automática al ingresarse una planilla de tiempos, los registros por operación están disponibles para ser consultados por el usuario. Para consultar un registro basta con seleccionar la operación en el menú desplegable del la pantalla principal y hacer click en Ver registro de tiempos para esta actividad.

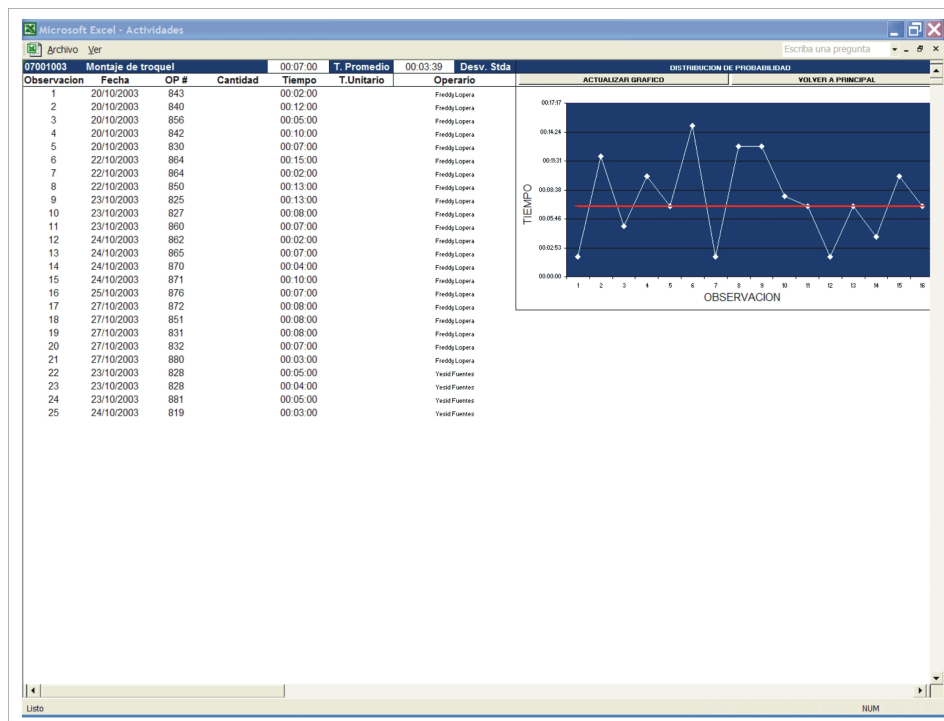


Figura 3.7: Hoja de registro por operación. El gráfico permite chequear por simple inspección el comportamiento normal los tiempos. Las casillas de cantidad y tiempo unitario se encuentran vacías pues la actividad de esta hoja tiene un tiempo constante y no depende del tamaño de la orden

3.3. BASE DE DATOS DE MATERIAS PRIMAS

Como materias primas de los empaques producidos por la empresa podemos enumerar:

- El carton
- Las tintas
- Los adhesivos
- Los barnices
- El plastificado

Sin embargo según criterio gerencial el cartón es la materia prima crítica, y esto tiene lógica si se piensa que contribuye en casi el 80 % del costo asociado a materias primas del producto y el único de la lista que cuenta con restricciones de disponibilidad y tiempos de entrega por parte del proveedor; Por tal motivo se incluyó como objetivo de este proyecto el gestionar la programación de compra de este elemento para lo cual fue necesario diseñar una base de datos con información sobre existencias y otro tipo de datos que en un futuro (fuera de los alcances de este proyecto) sirvieran para obtener informes estadísticos de consumos por referencias, periodicidad de la demanda, cantidades óptimas de pedido, etc.

Como cualquier otro producto, el cartón cuenta con diferentes referencias, referencias que difieren unas de otras en características de calidad y fines de uso como el tipo de esmalte, el reverso, el calibre, los gramos por area que lo componen y el ancho de la bobina que se esta comprando. Para el uso que le da la empresa a esta materia prima, se requieren algunas características de gramaje, calibre y esmaltado que limitan el número de referencias utilizables. Sin embargo la gran cantidad de anchos de bobina disponibles hacen que la base de datos de productos esté compuesta por un número considerable de alternativas ²

Aunque para la arquitectura baste con conocer los metros cuadrados existentes de cartón de una cierta referencia y el tipo de rotación del mismo (el tipo de rotación de una referencia de carton es explicado en el numeral 5.1 pag79) como fue comentado al inicio de esta sección la base de datos fue diseñada con información adicional que sera útil en los proyectos de informatización que la empresa viene desarrollando; Para cada una de las referencias de cartón utilizadas por la compañía se lleva una hoja que asemeja un registro de cardex que contiene los siguientes campos:

FECHA	Fecha en la que hubo un movimiento de inventarios en la referencia bien sea por entrada o por salida de material.
ORDEN/FACTURA	Número de la orden de producción para la cual se generó la salida o factura a través de la cual ingresó cartón al inventario.
CODIGO	Código del producto que se fabricó con el cartón saliente o código del proveedor que vendió el cartón si se trata de una entrada.
CLIENTE/PROVEEDOR	Nombre del cliente o proveedor a quien se despachó o compró el cartón respectivamente.
REFERENCIA	Referencia del producto que se fabricó con el cartón
CANTIDAD	Cantidad de empaques fabricados con el cartón saliente
ENTRADA	Cantidad en metros cuadrados que entra de cartón si se trata de una compra
SALIDA	Cantidad en metros cuadrados de cartón utilizado en una orden de producción.
SALDO	Cantidad en metros cuadrados de cartón remanente en el inventario.

Además de estos campos, la hoja contiene en el rótulo información para la identificación del cartón como el fabricante, el calibre, el ancho de la bobina y su nivel de rotación.

²Los criterios de selección de anchos de bobina para una orden de producción se explican en el numeral 4.2

Al igual que las bases de datos de productos y de operaciones, la base de datos de materias primas ha sido ligada al sistema experto a través de su menu principal.

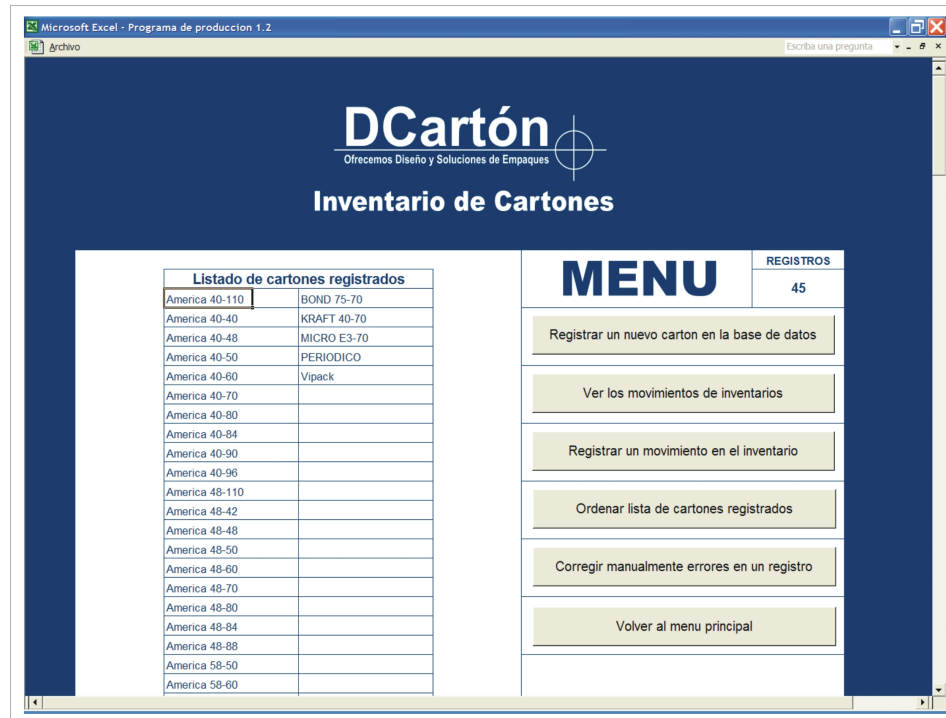


Figura 3.8: Menu principal de la base de datos de materias primas. A la izquierda se ve la lista de cartones registrados en la base de datos.

El menu principal (figura 3.8) ofrece varias opciones:

- Registrar un nuevo cartón en la base de datos
- Ver los movimientos en el inventario
- Registrar movimientos en el inventario
- Corregir manualmente errores en registros

Aunque actualmente en la base de datos están registrados todos los cartones utilizados en la empresa, no se descarta la posibilidad de que en un futuro nuevas materias primas sean adoptadas para la fabricación de nuevos productos. En esta eventualidad, la base de datos permite la inclusión de nuevas referencias, tras hacer click en el primer botón del menú, cuadros de dialogo le solicitaran al usuario los datos que conforman el rotulo del carton (Fabricante, cancho, calibre, etc) y el programa abrirá una nueva hoja con la información del producto que se está registrando.

Existen dos modos de realizar movimientos en la base de datos de las materias primas, la primera es de forma automática y es aplicada por el programa de producción al emitir una orden de producción (ver 5.2) este identifica en la orden de producción el cartón que será utilizado y realiza el registro completo en el inventario de forma automática emitiendo al final un aviso al usuario que notifica el

exitoso registro de la salida de cartón. La segunda es de forma manual, este modo se utiliza casi que exclusivamente para registrar el ingreso de materias primas (aunque también permite registrar salidas) y se activa haciendo click sobre el nombre del cartón en el que se va a hacer el registro seguido de un click en el segundo botón del menú de la base de datos.

Un cuadro de diálogo solicitará al usuario información como el tipo de movimiento, la cantidad de metros cuadrados entrantes o salientes, el código del proveedor o cliente según aplique, etc; El software llevará al usuario a la hoja de registro del cartón que este haya elegido, efectuara el movimiento y calculará el nuevo saldo; La figura 3.9 muestra una hoja de registro para el cartón America calibre 40 en bobina de ancho 60.

Movimientos	Registro:	America 40-60	Calibre: 40		Rotacion	Ver a inventario	Ver a general	Entrada	Salida	Saldo
33	Fabricante:	Carones America	Ancho: 60		Baja					
Fecha	Orden/Factura	Codigo	Cliente/Proveedor	Referencia	Dimensiones	Cantidad				
01-Ene-03	-			Inventario Inicial			432			432
20-Ene-03	0049	90226	Sun Light Periquita	Tapa	31,8 23 x 3					0
20-Ene-03	00322810		Coompresores				1023			1023
20-Ene-03	0041		Coopasan	Sin Impresión	35 x 35 x 12				311	712
23-Ene-03	0042	90391	Coopasan	Sin Impresión	24 x 24 x 12				230	482
03-Feb-03	0061	90289	Venezia Pizza		24 x 24 x 2,5				89	393
03-Feb-03	0063	90166	Legendary	Hombe	13 x 10 x 1,8				54	339
05-Feb-03	0081	90451	The Cookie Company	Estuche Lujo Light	9,3 x 9,3 x 1,3				29	310
05-Feb-03	0081	90454	The Cookie Company	Estuche Lujo Light	9,3 x 9,3 x 11				125	185
24-Feb-03			Pruebas Lito		60 x 81				39	146
24-Feb-03			Jherson		27,7 x 16,2 x 8,2				6	140
04-Mar-03	00326880		Coompresores				1776			1916
06-Mar-03	00327113		Coompresores				910			2826
07-Mar-03	00167		Trillos	Libra	30 x 30 x 12				285	2541
07-Mar-03	00168		Coopasan		30 x 30 x 12				271	2270
07-Mar-03	00169		Coopasan	3/4	27 x 27 x 12				253	2017
06-Mar-03	00137		The Cookie Company						1387	630
08-Mar-03	00176		Trebol		6 x 1,5 x 7,8				79	551
14-Mar-03	00191		Yolita		23 x 14 x 9				120	431
14-Mar-03	00327820		Coompresores				1018			1449
14-Mar-03			The Cookie Company						624	825
17-Mar-03	00193		Delicias		30 x 30 x 12				285	540
20-Mar-03	00212		Cocoriko	1/4	16 x 14 x 5,5				69	471
20-Mar-03	00222		CD Room		16 x 3,5 x 3,5				217	254
20-Mar-03		2	A Favor	Rollo 543658			4			258
20-Mar-03	00218		Hiltos		14,5 x 30 x 1,5				256	2
25-Jun-03	-	2	Desperdicio	Final De Rollo					2	0
03-Sep-03		2	Inventario Inicial	Rollo:			183			183
05-Sep-03	00715	90508	COOPASAN	PLATO	17,5 Cm.	540			198	-15
05-Sep-03	00715	1	A Favor	Rollo: 00715			198			183
10-Sep-03	00727	90509	COOKIE	NAVIDAD PLEGADIZA	16,5 x 10,5 x 9	10100			1712	-1529
13-Sep-03	00748	90198	IOLINOS ALBA DEL FONC	HARINA BLANCA	17 x 12 x 3,5	3050			302	-1831
20-Sep-03	00770	90519	PASTELERIA	BASE ORLAS	18 x 9,5 x 5	106			659	-2490

Figura 3.9: Hoja de registro con 33 movimientos para el carton America calibre 40 ancho 60

En la figura 3.9 se pueden apreciar unos saldos negativos al final de la hoja, esto se debe a que el cartón ya ha sido entregado al proveedor pero aun no ha sido facturado a la empresa y por tanto aun no se ha realizado el movimiento de ingreso del cartón a la base de datos.

Otra de las opciones que brinda el menú de la base de datos de materias primas es el de corregir manualmente un error en un registro. Los errores en los registros se pueden presentar en la digitación de un código o de la cantidad de metros cuadrados registrados cuando el movimiento se realizó manualmente, o por la cancelación de una orden de producción cuando el registro fue efectuado directamente por el software.

Para corregir este tipo de errores, basta con hacer click en el nombre del cartón cuya hoja de registro se desea modificar seguido de un click en el botón Corregir manualmente errores en un registro. El software llamará la hoja a la pantalla y los cambios se pueden hacer utilizando el teclado o bien el mouse como mejor convenga.

3.4. BASES DE DATOS AUXILIARES

Ya han sido expuestas las tres principales bases de datos utilizadas por la arquitectura, sin embargo aun existen 4 bases de datos auxiliares que son fundamentales para el funcionamiento del algoritmo, pues contienen la información necesaria para generar las secuencias y realizar cálculos (ver 5.1).

3.4.1. Base de datos de tintas:

Como lo explica la tabla 2.6 los tres últimos dígitos del código de la operación impresión corresponden al código de la tinta que se imprime. Aunque son 4 las tintas básicas que se manejan en la impresión litográfica (Cyan, Magenta, Amarillo y Negro) existen diferencias sustanciales en su formulación y tonos que convierten 4 tonos en mas de 1000 contenidos en la carta pantonne, no todos son utilizados en la empresa sin embargo hay un importante número de referencias de tintas que hacen parte de las usadas en las mas de 200 referencias fabricadas por DCartón.

El tipo de tinta utilizada no solo es importante como información para los operarios en la orden de producción, sino que es determinante en la secuencia de producción de una referencia y en los tiempos de lavado de máquina entre cambio de colores (ver 4.3) luego es importante asociar cada código de producto a un código de tinta.

La diferenciación no se puede hacer de forma arbitraria, el código de una tinta debe contener cierto número de caracteres en donde cada uno de ellos tiene un significado, por tal motivo era imposible dejar la asignación de códigos a las tintas al criterio del usuario, una pequeña rutina lo haría de forma sistemática generando un código útil.

La figura 3.10 muestra la página única de la base de datos de tintas. A esta se puede ingresar bien sea desde el menu principal del programa de producción (ver 5.2) o desde la hoja de especificaciones de la base de datos de productos.

A esta base de datos se accede únicamente para registrar una nueva tinta, pues el sistema experto consulta la información requerida automáticamente cuando se corre el algoritmo de secuenciación y las referencias aparecen en un menú desplegable de la hoja de especificaciones cuando se llena el campo de tinta en la base de datos de productos.

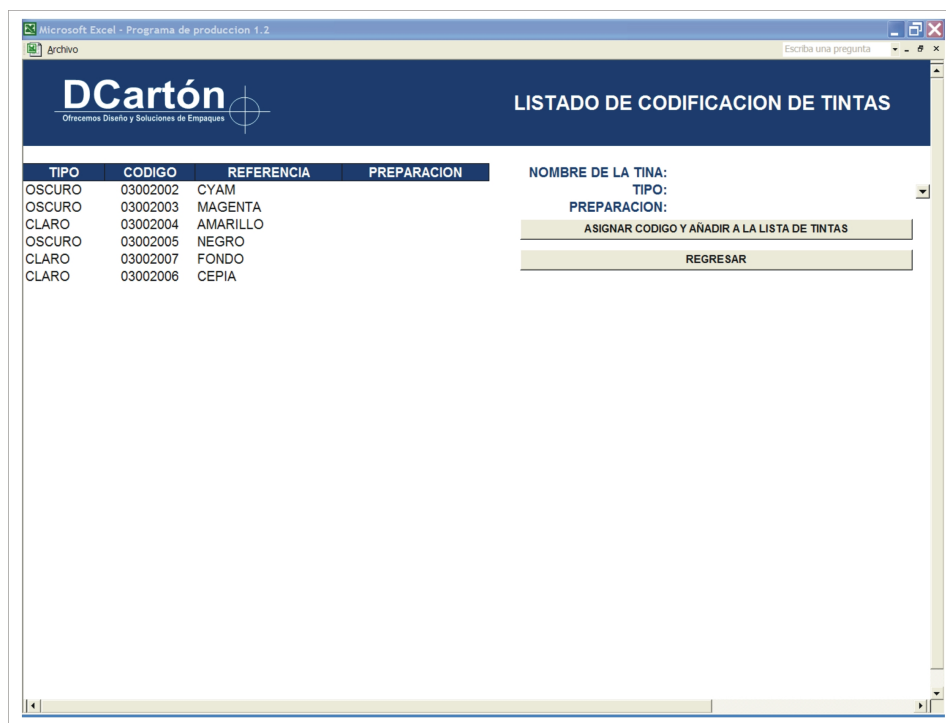


Figura 3.10:

Para crear una nueva tinta en la base de datos, solo se requiere escribir su nombre en el campo dispuesto para tal fin en la esquina superior derecha de la hoja (figura 3.10), seleccionar el tipo de color (claro, oscuro) en el menú desplegable de tipo y seleccionar preparar en caso de que la tina sea preparada en la planta de la empresa.

Haciendo click en Asignar código y añadir a la lista de tintas, una rutina da un número a las tres últimas cifras del código de la operación de impresión siguiendo el consecutivo y lo añade a lista de tintas con la demás información suministrada por el usuario.

3.4.2. Base de datos de troqueles

Esta base de datos auxiliar, tiene dos funciones básicas, la primera es brindar información a los operarios encargados de preparar las ordenes de producción del código del troquel que se utilizará para fabricar una referencia, y la segunda es proporcionar al algoritmo información sobre restricciones de fabricación de una referencia en una máquina y cambios de matriz entre trabajos (ver 5.1).

Aunque no existía una base de datos de los troqueles, si existía en la empresa un método de codificación de los mismos que aunque no era el mejor ya estaba en la mente de los funcionarios y podía funcionar con algunas adecuaciones para la construcción de la base de datos.

El código del troquel lo componen 5 caracteres, el primero es una letra que indica la línea a la que pertenece el producto en el que es utilizado como muestra la tabla 3.1 y los 4 siguientes caracteres corresponden al número consecutivo del troquel dentro de la letra al que pertenece.

LETRA	LINEA DE PRODUCTOS
A	ZAPATERIA
B	MARROQUINERIA
C	VARIOS
D	CONFECCIONES
E	PIZZERIA
F	PASTELERIA
G	DULCERIA
H	INDUSTRIA
I	INDUSTRIA ALIMENTOS
J	RESTAURANTES

Cuadro 3.1: Codificación de troqueles

Al igual que en la base de datos de tintas, a la de troqueles solo es necesario acceder cuando se requiera incluir un nuevo troquel en el registro lo que es posible hacer desde la hoja de especificaciones haciendo click en el botón Codificar nuevo troquel

La figura 3.11 muestra el listado de troqueles cargada a la izquierda y las opciones que se ofrecen para la codificación de troqueles.

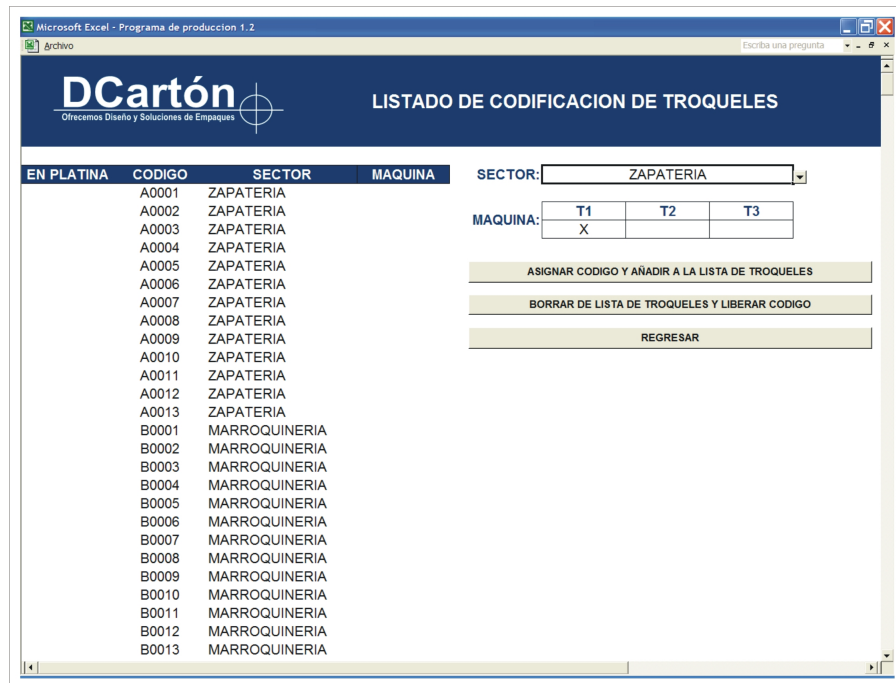


Figura 3.11: Vistazo página única base de datos de troqueles

La base de datos contiene cuatro campos de información:

- EN PLATINA** Como se explicó en la caracterización del proceso de troquelado (numeral 2.4 pag36) la troqueladora T4 cuenta con un sistema de platinas intercambiables que contienen los makreys de las referencias de mayor movimiento. Esta casilla es una variable booleana que toma valor de verdadero si el makrey para el troquel se encuentra en una de las platinas y falso en el caso contrario.
- CODIGO** Código del troquel asignado automáticamente por el sistema.
- SECTOR** Línea de productos al que pertenece.
- MAQUINA** Máquinas en las que por restricciones de tamaño o presión requerida se puede montar la matriz en una corrida de producción. Consta de 6 caracteres 2 para cada máquina.

Para añadir un troquel a la base de datos, se debe seleccionar el sector al cual pertenece en el menu des plegable, seleccionar X o espacio en blanco en las casillas T1,T3,T4 para indicar la(s) máquina(s) en las que esa matriz puede ser utilizada en una corrida de producción; Y finalmente

hacer click en Asignar código y añadir a la lista de troqueles.

3.4.3. Base de datos de planchas

La base de datos de planchas cumple básicamente las mismas funciones que la de troqueles. Servir de orientación para quien prepara las órdenes de producción y proporcionar información sobre restricciones como las máquinas en que se pueden trabajar cada referencia y tiempos de alistamiento entre referencias (ver 5.1).

El código de las planchas se compone de 5 caracteres, el primero indica el formato de la máquina para la que fue quemada (recordemos que la única diferencia entre las L1 y L2 es el formato) los tres siguientes corresponden al consecutivo para la máquina y el último es una letra (A o B) que indica la cara por la que fue fijada la imagen (las planchas litográficas son de doble cara).

A la base de datos de planchas se puede acceder únicamente desde la hoja de especificaciones, haciendo click en el botón codificar una nueva plancha. Una vez en la página única de la base de datos (figura 3.12) se visualizará a la izquierda de la pantalla el listado de códigos de las planchas, con la máquina a la que están asociadas y una referencia opcional dada por el usuario para una referencia rápida.

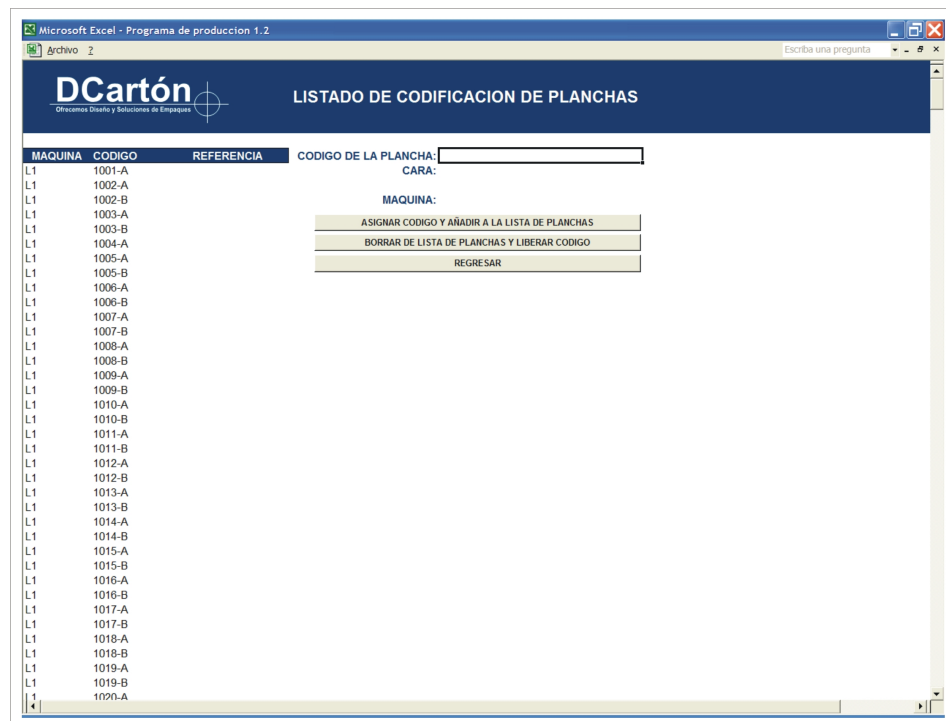


Figura 3.12: Vistazo página única base de datos de planchas

Como se ve en la parte superior derecha de la figura 3.12 el software brinda dos opciones, la primera es codificar una nueva planchas y la segunda eliminar una plancha del registro.

A diferencia de los troqueles, las planchas tienen una vida útil que varía según la marca y el revelador entre 5 y 10 mil impresiones, por consiguiente una plancha quemada con la imagen de x producto puede no ser útil para el siguiente pedido de esa referencia y existir la necesidad de construir una nueva, por tal motivo es necesario eliminar los registros de planchas cuya vida útil haya sido cumplida con el fin de optimizar la memoria ocupada por la base de datos.

El procedimiento para codificar una plancha es bastante sencillo, solo basta con seleccionar una máquina (L1, L2, L3) y hacer click en el botón Asignar código y añadir a la lista de planchas. Una pequeña rutina recorrerá la base de datos y asignará a la nueva plancha el primer código que encuentre disponible y la cara por la cual debe ubicar la imagen.

Para Eliminar una plancha, solo es necesario escribir su código en el espacio dado para tal fin y seleccionar del menú desplegable la cara en la que se encuentra la figura, y luego hacer click en el botón Borrar de lista de planchas y liberar código.

Capítulo 4

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Con el desarrollo de este proyecto, se busca una nueva forma de programar la producción de forma en que se utilicen eficientemente los recursos con los que cuenta el area de producción y reducir los tiempos de entrega a los clientes (una de las debilidades identificadas en el análisis interno).

Dado el sistema productivo de la empresa, la situación se presentaba como el típico *JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM* con las siguientes características:

- Cada orden i requiere m operaciones O_{ij} con tiempos de procesamiento P_{ij} donde $j = (1, \dots, m)$ y O_{ij} debe ser procesada en la máquina M_{ij} .
- Las operaciones para cada producto deben ser secuenciadas en un orden predeterminado (Existen restricciones de secuencia).
- Cada orden tiene un patrón de secuencia a través de las máquinas independiente del de las otras ordenes.
- Cada máquina esta en capacidad de procesar solo una orden a la vez.
- Cada operación tiene asociado un tiempo de alistamiento σ_{ij}

Teniendo en cuenta estas particularidades y añadiendo las consideraciones presentadas en el cuadro 4.1 se diseñó y construyó el modelo matemático que dio vida al programa de producción desarrollado como producto de este proyecto.

El lote de transferencia es completo, es decir la siguiente operación no puede comenzar hasta que la actividad predecesora haya terminado en su totalidad.
Las actividades no pueden ser interrumpidas una vez han sido iniciadas.
No existe prioridad en los pedidos, todos tienen la misma probabilidad de ser programados en cualquier orden.

Cuadro 4.1: Las asunciones del modelo se introducen para reducir la complejidad del modelo y facilitar su adopción

4.1. FUNCIÓN OBJETIVO

El objetivo del *JOB SHOP PROBLEM* es el de minimizar el *MAKESPAN* o tiempo de terminación de la última orden. Esto garantiza que todos los pedidos estarán listos para ser entregados en el menor tiempo posible, utilizando los recursos de forma eficiente y balanceando la línea de producción reduciendo los costos por mano de obra asignables a cada producto.

$$FO = \text{Min}(\text{Makespan}) \quad (4.1)$$

$$\text{Makespan} = C_{max} \quad (4.2)$$

$$C_{max} = \text{Max}(C_i) \quad (4.3)$$

En la ecuación 4.3 C_i corresponde al tiempo de terminación del trabajo i .

4.2. RESTRICCIONES GERENCIALES

Las restricciones gerenciales son aquellas dictaminadas por la empresa según su criterio, generalmente con base en la estructura organizacional y su función de costos.

La principal restricción gerencial es la que tiene que ver con las materias primas aptas para la fabricación de un producto.

En la caracterización de los procesos, se explicó como se transforma un pliego de cartón a un formato de trabajo; es posible obtener el formato de trabajo para un producto determinado utilizando cualquier bobina de cartón cuyo ancho sea igual o exceda al ancho del formato, esto quiere decir que si se busca un formato de ancho 50, este podría ser obtenido de bobinas de ancho 50, 60, 70, 80, 84, 90, 100 y 110. Sin embargo el uso de cualquier bobina diferente a la de ancho 50 o cualquiera de sus múltiplos (en este caso solo ancho 100) implica un desperdicio adicional de cartón que la empresa trata de minimizar incluyendo una restricción según la cual, cada producto tiene como máximo tres anchos de bobina que pueden ser utilizadas en su fabricación y esas bobinas tienen un orden de

preferencia.

Las bobinas se especifican en la hoja de registro de la base de datos de productos y el orden en que son ingresadas en el formato es el mismo que el sistema experto utiliza en el proceso de decisión.

Otra restricción gerencial, es la que habla de la imposibilidad de dividir las operaciones de impresión de un producto y asignarlas a diferentes equipos. Aunque técnicamente es posible hacerlo, la antigüedad y dificultad en la calibración de los equipos así como la diferencia en el tamaño máximo del formato que pueden manejar, convierten esta opción en una complicación mas que en un beneficio. Por tanto, la impresión de los x colores que requiera una referencia debe ser hecha en la misma máquina.

4.3. RESTRICCIONES OPERATIVAS

Las restricciones operativas están dadas por condiciones técnicas del proceso o simplemente por las especificaciones del producto y ni la dirección ejecutiva, ni la de producción pueden hacer nada al respecto. Son las restricciones obligatorias que el modelo debe cumplir.

La principal restricción operativa es la de secuencia, la hoja de especificaciones de un producto puede traducirse en una serie de operaciones que tienen un orden inamovible de realización, de tal forma cada producto tiene un flujo de fabricación que no puede alterarse, la tabla 4.2 muestra las operaciones con las actividades predecesoras que deben haber sido realizadas antes de su iniciación.

CODIGO	ACTIVIDAD	CODIGO	PREDECESORA
01002001	Corte Cortarrollo		
02002001	Corte Guillotina	01002001	Corte Cortarrollo
03002001	Impresión Litografica	02002001	Corte Guillotina
04001001	Barnizado	03002001	Impresión Litografica
05001001	Plastificado	04001001	Barnizado
07002001	Troquelado	05001001	Plastificado
10002001	Descartone	07002001	Troquelado
09002001	Corte de acetatos		
09001001	Pegue Ventana	09002001	Corte de acetatos
08002001	Pegue caja	09001001	Pegue Ventana
20001001	Conteo	08002001	Pegue caja
20001002	Empaque	20001001	Conteo
30001005	Salidad de pedidos	20001002	Empaque

Cuadro 4.2: Restricciones de secuencia de operaciones de producción

La secuencia del cuadro 4.2 es la que seguiría un producto con todas las opciones de configuración ofrecidas por la empresa, sin embargo no existe entre las 200 referencias hasta hoy codificadas una que requiera de todas estas actividades.

De la configuración de los productos dependen las actividades de producción que se deben ejecutar durante su fabricación, una o algunas de las actividades presentadas en la tabla 4.2 pueden no ser requeridas, sin embargo la secuencia permanece inamovible, esto quiere decir que si un producto no lleva plastificado la actividad predecesora del troquelado no será esta sino barnizado que precede la actividad faltante (plastificado); Si la configuración del producto tampoco exige el Barnizado la actividad que preceda al troquelado será la impresión litográfica y así sucesivamente.

Nótese que no existe la posibilidad de retroceso en el flujo de producción es decir, un producto en proceso jamás regresa a una estación de trabajo pues los equipos para cada operación son especializados en esta y no permiten el desarrollo de ninguna otra actividad (ver numeral 2 página 24) esto es una gran ventaja pues elimina la posibilidad de creación de ciclos hamiltonianos a la hora de secuenciar (ver numeral 5.1).

Otra restricción operativa tiene que ver con la secuencia de color en las máquinas litográficas.

En la industria de las artes gráficas se ha manejado a través de los años la secuencia de colores C-M-Y-K es decir, Cyan-Magenta-Amarillo-Negro por su siglas en inglés. Sin embargo no siempre se utilizan tintas CMYK pues algunas referencias exigen tonos de tinta que son preparados especialmente para él o la secuencia es alterada algunas veces por el operario para facilitar el case del registro. Para eliminar este inconveniente, se ha incluido una restricción según la cual, los colores solo pueden ser impresos en la máquina litográfica en el orden en que han sido ingresados a la base de datos de productos (figura 3.3) Luego antes de registrar un producto nuevo en la base de datos, es preciso concertar con los operarios la mejor secuencia de color dados los tonos a utilizar y porcentaje del area del formato que cada uno ha de ocupar. Una vez esta ha sido definida se alimenta en la base de datos y permanecerá inamovible hasta que el registro sea cambiado nuevamente.

Existe una última restricción operativa, esta habla de la imposibilidad de fabricar una referencia determinada en cualquier máquina indistintamente; esta decision está supeditada a la existencia de los insumos para la fabricación del trabajo i en la máquina M , es decir no se puede imprimir un producto en la máquina L1 a menos que existan planchas fotomecánica para esa referencia en el formato de la máquina L1 y no se podrá troquelar en la máquina T3 a menos que el troquel existente sea compatible con las dimensiones y la presión de esa máquina.

Para ayudar al sistema en la toma de decisiones sobre que máquinas pueden realizar cada producto se introdujo dentro del software una hoja de registro que se alimenta automaticamente al ingresar un producto a la base de datos.

Durante el registro del producto en la base de datos, el software identifica a que máquina pertenecen las planchas escogidas y en que troqueladora se puede montar el troquel seleccionado y alimenta automáticamente la hoja de la figura 4.1.

CODIGO	LITOGRAFIA			TROQUELADO		
	L1	L2	L3	T2	T3	T4
90356						
90257			X	X	X	X
90268			X	X		
90259			X	X		
90263-M			X	X		
90263-P			X	X		
90377			X	X	X	X
90244	X		X	X	X	X
90357			X			X
90453			X	X	X	X
90454			X			X
90451			X			X
90450			X			X
90274			X			X
90273			X			X
90277			X	X		X
90275			X	X		
90461			X	X		
90388			X	X		
90339			X	X	X	X
90417			X			X
90145			X			X
90493			X			X
90189	X					X
90191	X					X
90114			X			X
90194				X		
90187	X			X		
90192	X				X	X
90204	X			X	X	X
90271			X	X	X	X
90338	X			X	X	X
90254			X	X	X	X
90248	X			X	X	X
90494						

Figura 4.1: Hoja de productos realizables por máquina

No ha sido necesario el traducir las restricciones (ni las gerenciales ni las operativas) a ecuaciones que las representen, pues la herramienta escogida para el análisis es la simulación y las restricciones se manejaron como secuencias lógicas.

4.4. VARIABLES DEL MODELO

El modelo tiene dos variables de entrada, el código en base de datos del producto que se desea producir y la cantidad de productos a fabricar de ese código. No existe restricción en cuanto al número de productos a programar.

El algoritmo usa diferentes variables internas que serán descritas a continuación de igual forma se utilizan muchas otras variables temporales para cálculos internos necesarias para solucionar el algoritmo pero no forman parte formalmente del modelo y se pasarán por alto en esta explicación.

VARIABLE	UNIDAD	TIPO	EXPLICACION
Cortado		Boleana	Toma el valor de verdadero si la materia prima viene cortada y de falso en caso contrario
Corte		String	Toma valores entre 1 y 3 e indica el corte del que será sacado el formato de trabajo (Ver base de datos de productos 3.1 página 45)
Pliegos	Unidades	Entera	Número de pliegos que deben salir de la máquina cortarrrollo.
Formatos	Unidades	Entera	Número de pliegos que salen de cortarrrollo e ingresan a litografía, generalmente el valor de esta variable coincide con la cantidad de productos a fabricar pero no necesariamente es así.
$TTI_{i,j}$	Segundos	Doble	Tiempo de inicio mas temprano de la actividad. Se calcula para cada actividad de un producto e indica el tiempo mas cercano de inicio de la misma.
$t_{i,j}$	Segundos	Doble	Tiempo de duración de una actividad $O_{i,j}$ sin tiempos de preparación
$\sigma_{1i,j}$	Segundos	Doble	Tiempo de preparación sin pieza de una actividad $O_{i,j}$.
$\sigma_{2i,j}$	Segundos	Doble	Tiempo de preparación con pieza de un actividad $O_{i,j}$.
$T_{i,j}$	Segundos	Doble	Duración de una actividad $O_{i,j}$ de producción incluyendo los tiempos de preparación para su iniciación.
$T_{inicio_{i,j}}$	Segundos	Doble	Tiempo de inicio de una actividad $O_{i,j}$ en una máquina M .
$T_{final_{i,j}}$	Segundos	Doble	Tiempo de finalización de una actividad $O_{i,j}$ en una máquina M .
C_i	Segundos	Doble	Tiempo de terminación de la ultima actividad $O_{i,j}$ de un trabajo i .
$MaxO_{i,j}$	Adimensional	Entera	Numero máximo de operaciones j entre todos los trabajos i
Z_M	Adimensional	Entera	Numero de actividades m en una a realizar en una máquina M

4.5. HERRAMIENTAS DE PREPARACIÓN PARA EL ANÁLISIS

Para que los algoritmos de solución diseñados para resolver el modelo puedan funcionar es necesario extraer de las bases de datos la información necesaria como entrada en los algoritmos. Esta sección da cuenta de que tipo de información se trata y describe los procesos seguidos por el ordenador para extraerla.

4.5.1. Definición de las actividades por referencia

Para poder secuenciar las actividades para cumplir con la producción de un periodo de tiempo (un día, una semana, etc) lo primero que se debe conocer es evidentemente las actividades que deben ser tenidas en cuenta en la programación.

Como se explicó en la sección 4.4 los únicos datos de entrada para los algoritmos son la referencia que se quiere fabricar y el tamaño de dicho pedido. Es necesario descomponer cada una de las referencias a fabricar en las diversa actividades de producción que estas demandan. Para realizar esta tarea fue diseñado un algoritmo de búsqueda en las bases de datos que será explicado a grandes rasgos a continuación.

El objetivo del algoritmo es crear una matriz que sirva como soporte al sistema experto en la secuenciación de la producción. Esta matriz contiene las operaciones que deben ser realizadas para la fabricación de cada uno de los productos que componen el pedido del periodo (día, mes, año, etc)

$$\mathbf{O} = \begin{pmatrix} O_{1,i} & \dots & O_{1,n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ O_{MaxO,i} & \dots & O_{MaxO,n} \end{pmatrix}$$

La matriz tiene n columnas que representan el número de referencias a fabricar y $MaxO$ filas que equivalen al número de operaciones máximo en una referencia.

El método de llenado de la matriz se explica cuidadosamente en el diagrama de flujo de la figura 4.2. Las rutinas A , B y C utilizadas por el algoritmo no han sido explicadas por tratarse de rutinas netamente computacionales cuya profundización no es necesaria para la comprensión del proyecto.

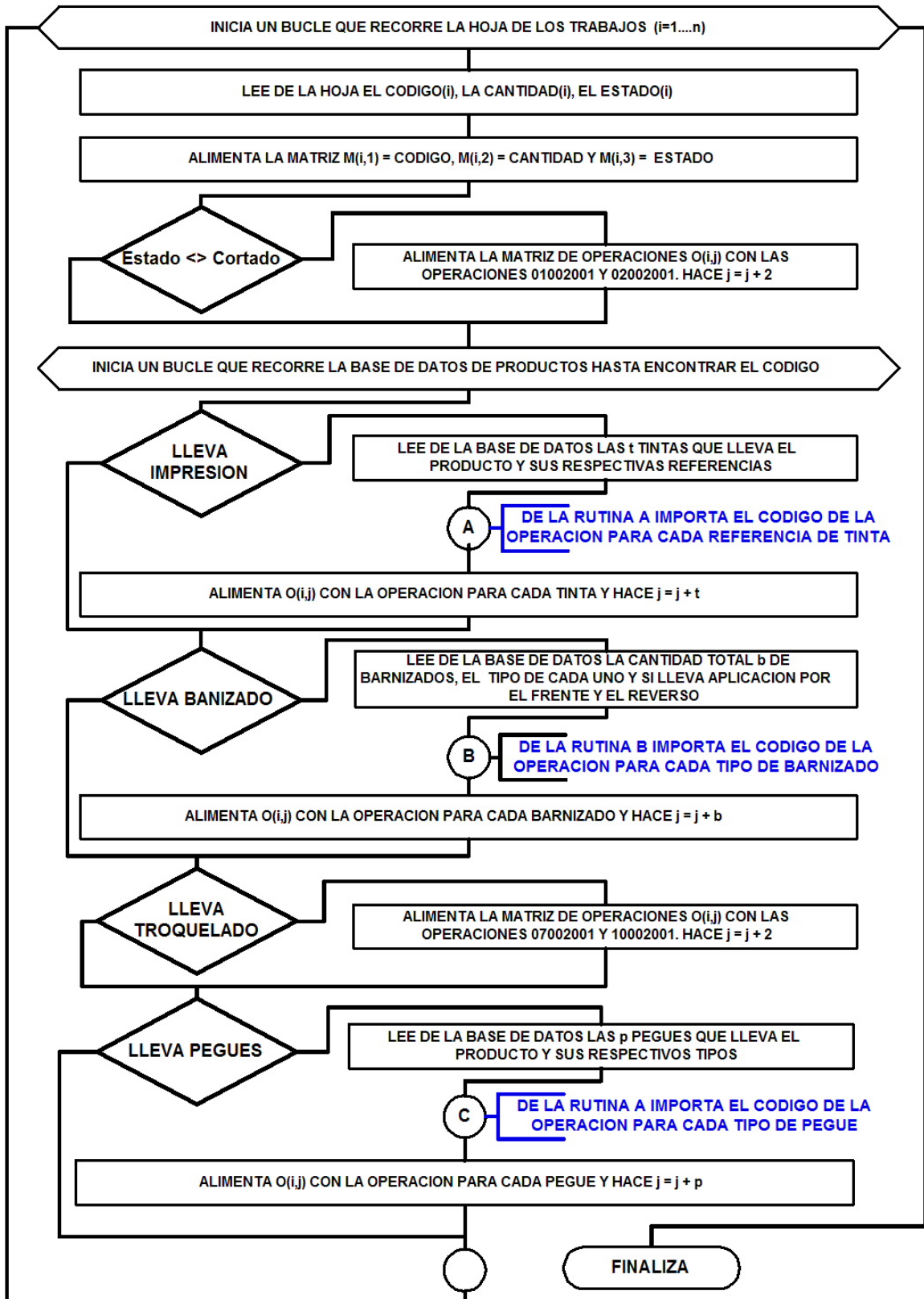


Figura 4.2: Algoritmo de segregación de actividades

4.5.2. Cálculo de los TTI y los T_i

Una vez construida la matriz O de operaciones es necesario para el funcionamiento del algoritmo, conocer el tiempo temprano de inicio de cada una de las actividades a secuenciar. Este será almacenado en una tercera matriz de las mismas dimensiones de la matriz O y a la que se le dará el nombre de O_1 .

$$O_1 = \begin{pmatrix} O_{1,i} & \dots & O_{1,n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ O_{MaxO,i} & \dots & O_{MaxO,n} \end{pmatrix}$$

El $TTI_{i,j}$ de una operación está dado por el tiempo de finalización de su predecesora y el tiempo de alistamiento sin pieza en el cambio de operación según la relación $TTI_{i,j} = T_{i,j-1} - \sigma_{1i,j}$ lo que quiere decir que la actividad $O_{i,j}$ puede iniciar $\sigma_{1i,j}$ segundos antes de que la operación $O_{i,j}$ termine, esto tiene lógica si se piensa que el tiempo de preparación $\sigma_{1i,j}$ no requiere de la presencia de la pieza en la máquina para ser ejecutado.

Como $TTI_{i,j} = T_{i,j-1} - \sigma_{1i,j}$ deja ver, para el calculo del $TTI_{i,j}$ de una actividad es necesario conocer la duración de la actividad anterior, está duración esta dada por la ecuación ??.

$$T_{i,j} = \sigma_{1i,j} + \sigma_{2i,j} + t_{i,j} \quad (4.4)$$

En donde tanto $\sigma_{1i,j}$ como $\sigma_{2i,j}$ están compuestos por actividades $\sigma_{1i,j,k}$ de la forma que muestra las ecuaciones 4.5 y 4.6.

$$\sigma_{1i,j} = \sum_{k=1}^K \sigma_{1i,j,k} \quad (4.5)$$

$$\sigma_{2i,j} = \sum_{k=1}^K \sigma_{2i,j,k} \quad (4.6)$$

El número de actividades K para cada uno de los σ varia según la actividad i, j , incluso no es constante para todas las actividades i, j del mismo tipo. Las tablas muestran las $\sigma_{i,j,k}$ para cada operación de producción $O_{i,j}$ (donde m es el orden dentro de la máquina M) y la condición para que el valor de su tiempo sea diferente de 0.

02002001 PRODUCCIÓN GUILLOTINA			
σ	NOMBRE	CODIGO	CONDICIÓN
σ_2	Transporte de material	02001001	Siempre que $O_{i,j-1}$ sea 01002001
σ_1	Preparacion de topes	02001002	Siempre que el formato (cualquier dimensión) utilizado en $O_{i,j,m-1}$ sea diferente al requerido en $O_{i,j,m}$

Cuadro 4.3: Tiempos de preparación de la actividad de guillotina

01002001 PRODUCCIÓN CORTAROLLO			
σ	NOMBRE	CODIGO	CONDICIÓN
σ_2	Desmonte de Bobina	01001001	El ancho, tipo de carton o calibre del pliego utilizado en $O_{i,j,m-1}$ es diferente al que se requiere en $O_{i,j,m}$
σ_2	Montaje de Bobina	01001002	Siempre que se dé 01001001
σ_1	Preparación de topes	01001003	El largo del pliego cortado en $O_{i,j,m-1}$ es diferente al que se requiere en $O_{i,j,m}$

Cuadro 4.4: Tiempos de preparación de la actividad de Cortarollo

03002XXX PRODUCCIÓN LITOGRAFICA			
σ	NOMBRE	CODIGO	CONDICIÓN
σ_2	Montaje Material	03001001	Siempre que se va a efectuar 03002001
σ_2	Montaje Cabezote	03001002	Si alguna de las dimensiones del formato utilizado en la $O_{i,j,m-1}$ cambia con respecto al que se va a utilizar en $O_{i,j,m}$
σ_2	Preparacion Mesa	03001003	Siempre que se dé 03001002
σ_{1-2}	Entinte	03001004	Siempre que se cambie de tinta es decir que los tres últimos dígitos de 03002XXX cambien entre $O_{i,j,m-1}$ y $O_{i,j,m}$
σ_{1-2}	Prueba	03001005	Siempre que se dé 03002XXX
σ_{1-2}	Lavado sin despercudir	03001006	Siempre que se cambie de tinta es decir que los tres últimos dígitos de 03002XXX cambien entre $O_{i,j,m-1}$ y $O_{i,j,m}$ y el tipo de la tinta sea constante
σ_{1-2}	Lavado con despercudido	03001007	Siempre que se cambie de tinta es decir que los tres últimos dígitos de 03002XXX cambien entre $O_{i,j,m-1}$ y $O_{i,j,m}$ Y que la tinta pase de tipo oscuro a claro .
σ_{1-2}	Lavado de moletones	03001008	Siempre que se dé 03001007 sin embargo se realiza simultaneamente y su tiempo es inferior al de esta así que no se toma en cuenta en los cálculos.
σ_{1-2}	Cambio de plancha	03001009	Siempre que se cambie de tinta es decir que los tres últimos dígitos de 03002XXX cambien entre $O_{i,j,m-1}$ y $O_{i,j,m}$

Cuadro 4.5: Tiempos de preparación de la actividad de litografía

07002001 PRODUCCIÓN TROQUELADO			
σ	NOMBRE	CODIGO	CONDICIÓN
σ_1	Retirar el Makrey	07001001	Cuando la operación $O_{i,j,m-1}$ y la $O_{i,j,m}$ utilicen troqueles diferentes y el makrey para el troquel de $O_{i,j,m}$ no este montado en una platina.
σ_1	Desmontar Troquel	07001002	Cuando la operación $O_{i,j,m-1}$ y la $O_{i,j,m}$ utilicen troqueles diferentes.
σ_1	Montaje de troquel	07001003	Cuando la operación $O_{i,j,m-1}$ y la $O_{i,j,m}$ utilicen troqueles diferentes.
σ_1	Cambio de platina	07001004	Cuando la operación $O_{i,j,m-1}$ y la $O_{i,j,m}$ utilicen troqueles diferentes y el makrey para el troquel de $O_{i,j,m}$ este montado en una platina.
σ_1	Montaje Arreglo	07001005	Cuando la operación $O_{i,j,m-1}$ y la $O_{i,j,m}$ utilicen troqueles diferentes.
σ_1	Montaje Nuevo Makrey	07001006	Cuando la operación $O_{i,j,m-1}$ y la $O_{i,j,m}$ utilicen troqueles diferentes y el makrey para el troquel de $O_{i,j}$ no este montado en una platina.
σ_2	Prueba y Correcciones	07001007	Siempre

Cuadro 4.6: Tiempos de preparación de la actividad de troquelado

04001001 PRODUCCIÓN BARNIZADO			
σ	NOMBRE	CODIGO	CONDICIÓN
σ_2	Transp inicial material	04002002	Siempre
σ_2	Transp final material.	04002003	Siempre
σ_1	Montaje máquina	04002001	Siempre
σ_1	Lavado de máquina.	04002004	Siempre

Cuadro 4.7: Tiempos de preparación de la actividad de barnizado

En la tabla 4.5 aparecen unos σ_{1-2} esto quiere decir que dependiendo la operación dentro de la secuencia **del producto** se comportan como tiempos de alistamiento con o sin pieza.

Construir algoritmos que calculen los TTI y los T de las operaciones es una tarea compleja que demanda tiempo, y lograr una flexibilidad como la que se logró hasta este punto con todos los códigos informáticos requiere conocimientos avanzados en programación y utilización de bases de datos por lo que se decidió incluir la secuencia de actividades de preparación dentro de la lógica del algoritmo en lugar de que esta fuese tomada de una base de datos modificable. Es decir, las actividades de preparación incluidas en el desarrollo del sistema no pueden ser eliminadas ni cambiadas de orden en la secuencia, sin la modificación del código computacional lo que le resta flexibilidad pues si de alguna forma es alterado el método utilizado en la preparación de una actividad la arquitectura no podrá asimilar ese cambio sin que se hagan pequeñas modificaciones en su estructura. La herramienta que permite a la arquitectura aprender es el módulo de adquisición de conocimientos que fue dejado

fuera de los alcances del proyecto por tratarse de un campo de acción ajeno a la ingeniería industrial y exceder los conocimientos del investigador. De cualquier forma ya cursa en la empresa un proyecto para diseñar y añadir este módulo.

El diagrama de flujo de la figura 4.3 muestra la lógica utilizada por el software para el cálculo del tiempo de duración de una actividad.

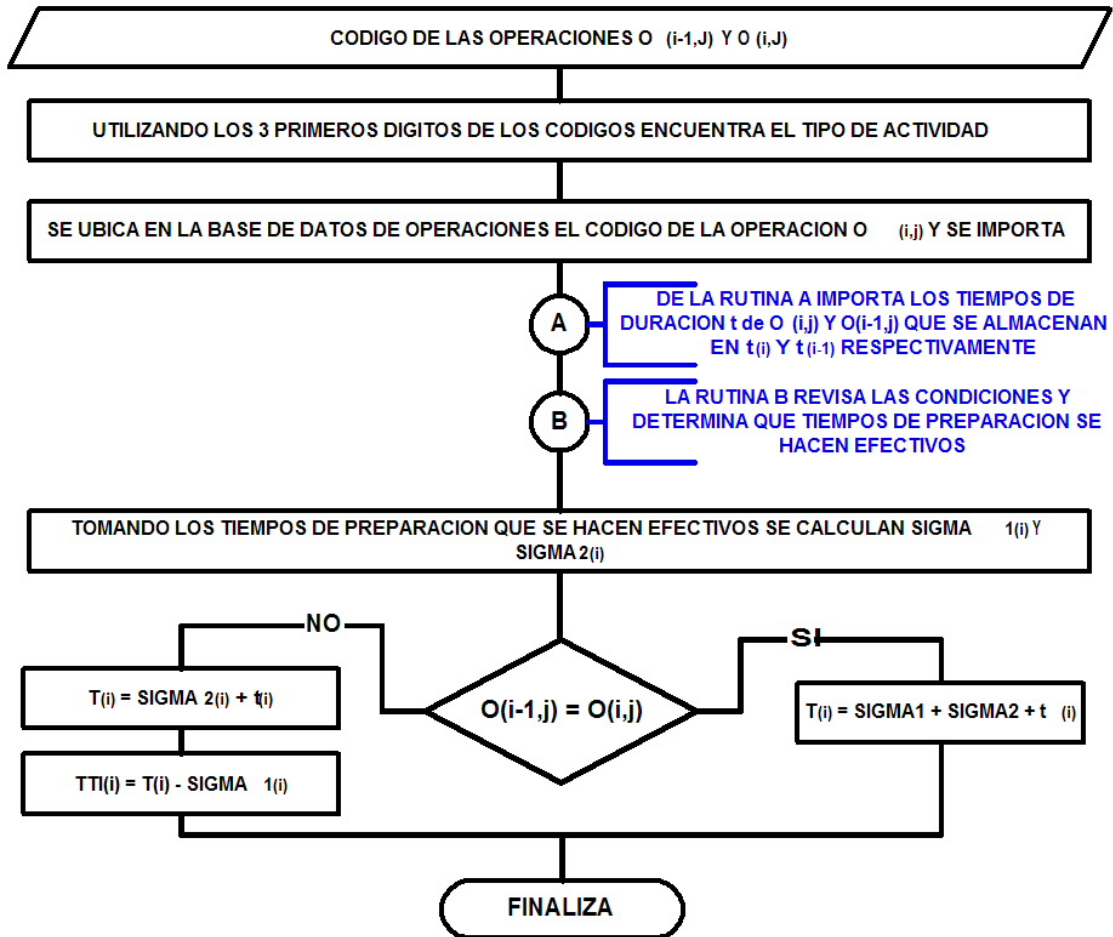


Figura 4.3: Lógica del algoritmo que calcula los tiempos de duración de las actividades

Vale la pena detenerse un poco para analizar lo que ocurre en la parte final del algoritmo presentado en la figura 4.3 pues esa es realmente la clave del cálculo de los tiempos de duración de las actividades.

Dentro del software, el algoritmo explicado en la figura 4.3 es una sub-rutina llamada *Calctiempos1* que es utilizada tanto en el cálculo de los $\text{TTI}_{i,j}$ como en forma independiente en otras instancias del software. Por tal motivo era necesario que el algoritmo estuviera en la capacidad de determinar por sí mismo, cuándo estaba siendo utilizado.

La comparación antes de terminar la secuencia lógica de acciones busca determinar si dos operaciones son iguales o del mismo tipo si la respuesta es verdadera entonces el algoritmo está siendo utilizado para calcular los tiempos de duración de actividades dentro de una máquina (pues dentro de una máquina todas las actividades son del mismo tipo) en caso contrario se está utilizando para calcular el $TTI_{i,j}$ de alguna actividad. En el caso de la litografía esta condición no se cumple pues puede existir mas de una actividad del mismo tipo al interior de una referencia. Sin embargo el algoritmo esta en capacidad de determinar si este es o no el caso.

En el primer caso la duración de la actividad es: $T_{i,j} = \sigma_{1,i,j} + \sigma_{2,i,j} + t_{i,j}$ en caso contrario $T_{i,j} = \sigma_{2,i,j} + t_{i,j}$ y el $TTI_{i,j} = T_{i,j-1} - \sigma_{1,i,j}$.

Capítulo 5

SOLUCIÓN DEL MODELO

5.1. ALGORITMOS DE SOLUCIÓN

Se define algoritmo como el proceso especial diseñado para resolver de forma mecánica todos los problemas de un cierto tipo. [13] de modo que los procedimientos computacionales diseñados para encontrar el valor óptimo de la función objetivo planteada en el modelo pueden ser considerados como algoritmos.

Aunque el software está compuesto de por mas de 40 subrutinas, realmente todas estas no son mas que herramientas para encontrar valores de variables necesarias para dos algoritmos principales. El primero de ellos de orden lógico utilizado para la programación de las materias primas y el segundo de orden lógico - matemático para la secuenciación de las actividades de producción.

5.1.1. Programación de materias primas

Siguiendo los principios de un sistema experto en donde una arquitectura computacional es diseñada con el conocimiento de un experto, el algoritmo de programación de materias primas es la reproducción del proceso de pensamiento de un experto (en este caso la gerente de la empresa) en la toma de decisiones sobre compras de materias primas de parte de un proveedor.

Para extraer este pensamiento se dieron repetidas entrevistas con el experto en las que se identificaron los lineamientos seguidos por este a la hora de ordenar materias primas; luego estos lineamientos se transformaron en un diagrama de flujo y finalmente se convirtieron en un código computacional que fue sometido a varias pruebas en las que dada una situación se compararon tanto la elección del experto y la del sistema como el proceso de pensamiento del humano y la máquina para depurar el algoritmo. La figura 5.1 muestra el diagrama de flujo del proceso de elección de compras de materias primas.

El proceso comienza con la alimentación de las variables de entrada, el código del producto y la cantidad a fabricar del mismo(CT). Mediante un procedimiento el software consulta en la base de

datos los tres posibles tipos de corte de cartón que pueden ser utilizados en la producción del producto requerido, identifica la referencia de la bobina del que es extraído cada uno de ellos y revisa en la hoja de inventario de cada una y calcula dados los metros cuadrados de saldo, la cantidad de productos que podrían ser elaborados con cada una de ellas. Estas cantidades aparecen en la gráfica 5.1 como C1, C2 y C3 en donde la C indica Cantidad y el numero(1,2 o 3) el tipo de corte.

El corte 1 es el ideal, es el que ha sido escogido por el departamento de diseño de la empresa como el óptimo y siempre se deseará fabricar un producto usando esta alternativa. El algoritmo hace una comparación de tipo lógico entre la cantidad requerida(CT) y la cantidad realizable con los remanentes en inventario para el corte 1 (C1). Si $C1 \Rightarrow CT$ el pedido se fabrica usando el corte 1 y con el cartón en inventario finalizando la elección de materias primas

En caso de que $C1$ no alcance a cubrir CT al igual que el experto humano, el algoritmo entra a evaluar la diferencia($D1$) entre esta dos variables $D1 = CT - C1$ como es apenas lógico intuir, si la diferencia $D1$ es muy pequeña, no tiene ningún sentido comprar materias primas o utilizar dos tipos de corte (lo que implicaría dobles o triples tiempos de preparación) para fabricar la pequeña cantidad faltante. Esta $D1$ es comparada con una cantidad $Delta1$ definida gerencialmente como el 5 % del total de la orden.

Si $D1 \leq Delta1$ la cantidad total del pedido es reducida en un $D1$ y se envía a producción la orden para fabricar una cantidad $C1$. Si por el contrario $D1 \Rightarrow Delta1$ entonces se compara con un $Delta2$ que corresponde a la cantidad minima de productos a fabricar que hacen viable la opción de ordenar una nueva bobina de cartón para corte 1 si $D1 \Rightarrow Delta2$ se entra a evaluar la posibilidad de adquirir material para suplir esa diferencia; esta evaluación consiste en revisar el registro del cartón empleado en el corte 1 y determinar si se trata de un tipo de bobina de alta rotación (con lo cual se asegura que el carton comprado no quedará estancado en inventario por largos periodos de tiempo) de lo contrario el razonamiento retorna a su curso y se pasa a considerar la utilización del corte 2.

Se realiza una comparación $C2$ y $D1$ si $C2 \Rightarrow D1$ es posible cubrir la diferencia $D1$ con el cartón en inventario para el corte dos luego se envía a producción la instrucción de producir $C1$ con el cartón en inventario para el corte 1 y cubrir el restante con cartón en inventario para el corte 2

Si por el contrario $C2 \leq D1$ se debe calcular una nueva diferencia $D2$ entre la cantidad $D1$ y la capacidad del inventario para cubrirla($C2$) de forma que: $D2 = D1 - C1$.

La diferencia $D2$ entra a ser evaluada del mismo modo que se hizo con $D1$ siendo comparada con $Delta1$, recordemos que $Delta1$ es la cantidad fijada por la gerencia en la cual se pueden disminuir los pedidos sin causar molestias al cliente. Si $D2 \leq Delta1$ el pedido es reducido en $D2$ y producción recibe la orden de utilizar todo el inventario disponible para los cortes 1 y 2 fabricando $C1$ y $C2$

En caso de que $D2$ sea mayor que $Delta1$ se entra a considerar la opción de cubrir la diferencia utilizando cartón en inventario para el corte 3; Nótese que a diferencia de lo acontecido con el primer

corte no existe la opción de comprar material para el segundo corte, esto se debe a que la gerencia considera que de ser necesario adquirir nuevo material, este debe ser del que proporcione el corte óptimo para no incurrir en costos por desperdicios en retazos y minimizar el costo de inventarios.

Para determinar si se debe o no utilizar cartón para corte 3, se comprará $D2$ con $C3$ si $C3 \leq D2$ entonces la diferencia $D2$ es cubierta con este tipo de cartón y el pedido se emite una orden de trabajo que utiliza $C1, C2$ y algo del cartón para corte 3.

Si $D2$ excede $C3$ el algoritmo decide fabricar todo el pedido utilizando el corte 1 cubriendo CT parte con $C1$ y ordenando la compra de nuevo cartón para corte 1 suficiente para cubrir $D1$.

Aunque parece difícil de entender el algoritmo ha demostrado durante su proceso de implantación ser coherente con el pensamiento del experto y ha ayudado a reducir el tiempo de toma de decisiones en la programación de materias primas al mínimo de requerido para alimentar con información al sistema.

La interface con el usuario es explicada en la sección 5.2 SOFTWARE PARA LA SECUENCIACIÓN DE PRODUCCIÓN en la página 94, la tabla 5.1 presenta un resumen de las variables utilizadas en el algoritmo y es útil como referencia para la comprensión del gráfico.

CT	Cantidad total a producir, incluye el monto solicitado por el cliente mas un Δ de desperdicio calculado por el software.
C1	Cantidad máxima del producto que puede ser fabricada utilizando el corte 1 con el cartón remanente en inventarios.
C2	Cantidad máxima del producto que puede ser fabricada utilizando el corte 2 con el cartón remanente en inventarios.
C3	Cantidad máxima del producto que puede ser fabricada utilizando el corte 1 con el cartón remanente en inventarios.
D1	Diferencia entre la cantidad total a producir (CT) y la cantidad maxima producible con cartón en inventario utilizando el corte 1 (C1) $D1 = CT - C1$
D2	Diferencia entre la D1 y la cantidad máxima producible con cartón en inventario para utilizando el corte 2 (C2) $D2 = D1 - C2$
Δ_1	Indica la cantidad máxima de productos que pueden dejar de ser producidos en caso no contar con materia prima suficiente. Equivale al 5 % de CT.
Δ_2	Equivale a la cantidad mínima de productos que son necesarios realizar para que sea aprobada una orden de compra de cartón usado en el corte 1
TOT	Variable ficticia que indica la cantidad de productos que deben ser fabricados dada la programación de materias primas.

Cuadro 5.1: Variables usadas en el algoritmo de programación de materias primas

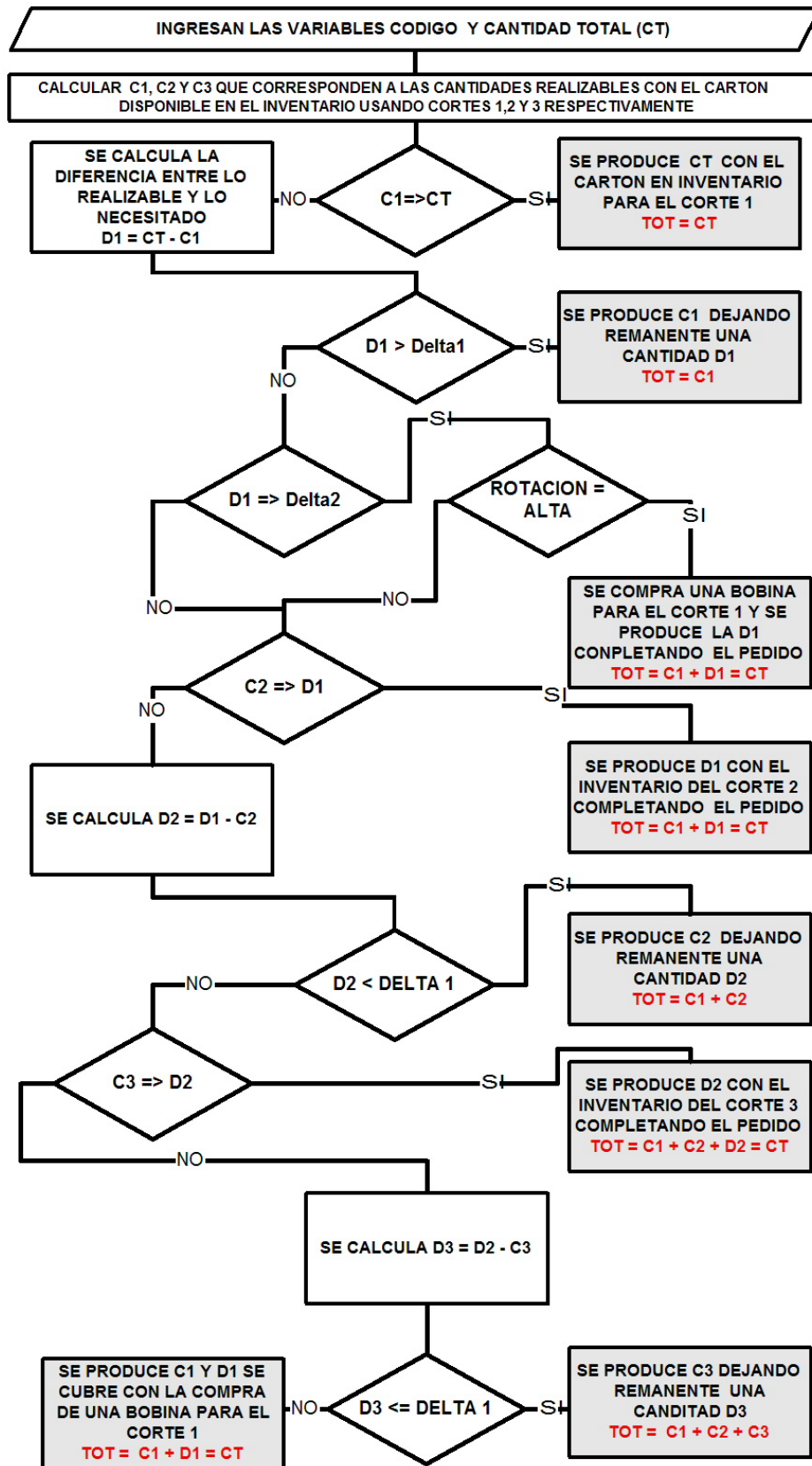


Figura 5.1: Diagrama de flujo del algoritmo de programación de materias primas: Los cuadros grises simbolizan la finalización del algoritmo después de la ejecución de la actividad contenida en su interior.

5.1.2. Secuenciación de las actividades de producción

Uno de los objetivos de este proyecto es combinar el concepto de un sistema experto con el de los modelos de optimización para crear una arquitectura que a diferencia de los sistemas expertos tradicionales no basara las reglas de decision solo en los modelos lógicos extraídos de la mente de un especialista sino también en modelos matemáticos.

Como herramienta de análisis para solucionar el problema de job shop problem planteado en la sección 4 fue escogida la simulación y entre las heurísticas existentes se decidió por el recocido simulado. La figura 5.2 muestra el esquema general de funcionamiento del algoritmo.

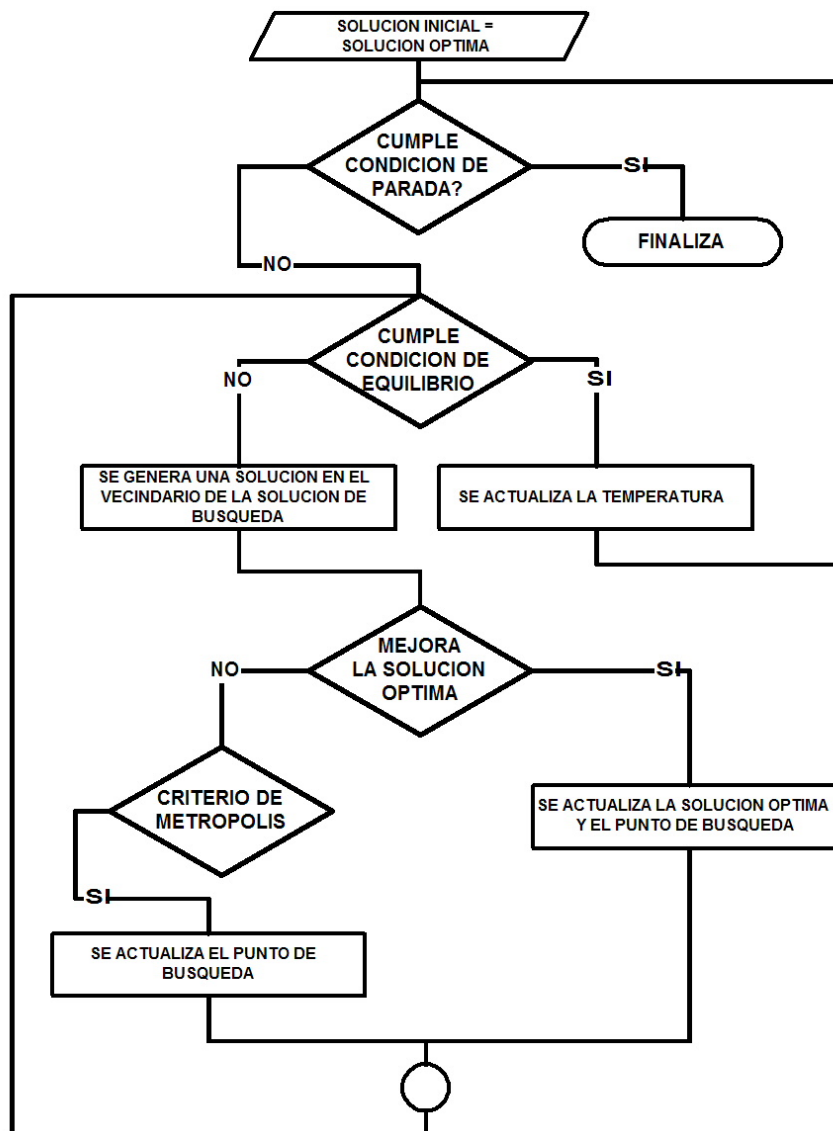


Figura 5.2: Diagrama de flujo del algoritmo de recocido simulado.

Una sucesión de números aleatorios es una serie de números entre 0 y 1 que se distribuye uniformemente. Sin embargo los generadores de números aleatorios por computadora no cumplen con esta característica y los números que proveen son llamados pseudoaleatorios pues la serie arranca con una *semilla* y tiene un periodo finito, es decir al cabo de cierto tiempo la serie de numeros reinicia y los valores empiezan a repetirse. Sin embargo dada la poca precision matemática requerida por el modelo planteado en este proyecto, el generador de números aleatorios incorporado en Visual Basic (que toma la semilla del reloj de la computadora para iniciar la generación de números, lo que garantiza una nueva secuencia cada vez que se corra la simulación) brinda seguridad en la aleatoriedad.

La metodología sugerida por Phan y Karaboga[12] para la aplicación de un algoritmo de recocido simulado a un problema real incluye 5 puntos básicos.

- Diseñar la representación de las soluciones
- Definición de la función de costos
- Definición del algoritmo de generación de los vecindarios (solución inicial y soluciones vecinas)
- Diseño del programa de enfriamiento.
- Definición de las reglas de parada

Por ser sencilla y coherente con el pensamiento del investigador, la metodología planteada por Phan y Karaboga[12] fue la utilizada para el diseño del algoritmo de recocido simulado.

Representación de las soluciones y definición de la función de costos

La solución de nuestro modelo es un plan de la secuenciación de las j actividades de los i trabajos en las m máquinas, con sus respectivos tiempos de inicio y terminación de la misma asi como el valor del *makespan* dada la secuencia elegida.

Para representar la solución se optó por construir 12 matrices $M_{Z_M,6}$ donde las filas corresponden a las Z operaciones que debe realizar la máquina M y las columnas distintos valores que se explican en la relación 5.1. m es el orden de las operaciones en la máquina

$$M_{Z_M,6} = \begin{pmatrix} Operacion_{i,j,m} & Producto_i & T_{i,j,m} & T_{inicio_{i,j,m}} & T_{final_{i,j,m}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Operacion_{i,j,Z} & Producto_i & T_{i,j,Z} & T_{inicio_{i,j,Z}} & T_{final_{i,j,Z}} \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

Las longitud Z varía para cada centro de trabajo pues la aleatoriedad de las soluciones puede hacer que a una máquina M se le asigne solo una operación $O_{i,j}$ con lo que Z tomaría valores de 1.

La definición de la función de costos debe ser congruente con la función objetivo del modelo. En nuestro caso según la ecuación 4.1 la F.O es minimizar el *makespan* o el tiempo de salida de la última

unidad producida.

La función de costos está dada por: $Makespan = Cmax_i$ donde $Cmax_i$ es el valor máximo entre los valores de la columna 6 de todas las matrices $M_{Z,6}$ es decir el mayor $Tfinal_{i,j}$ entre los $Tfinal_{i,j}$ de todas las operaciones. Es decir, un nuevo óptimo se alcanza cuando se logra mejorar $Cmax_i$.

Generación de la solución inicial

El algoritmo de generación de la solución inicial recibe del usuario el código de los n productos a fabricar y las cantidades de pedido de cada uno. Utilizando el algoritmo de **Definición de las actividades por referencia** de la figura 4.2 se crean las matrices A y O luego se ejecuta la rutina *Crearsecuencia* explicada en la figura 5.3.

Una vez ejecutada la rutina, se obtienen primeras matrices M , 12 matrices que contienen las operaciones del necesarias para cumplir con todos los pedidos que son realizables en cada una de las máquinas M .

Para generar la solución inicial, se requiere seleccionar cuales actividades van a ser realizadas en cada máquina y en qué orden. En el caso de las máquinas litográficas existe una restricción operativa que indica que la secuencia de actividades de impresión de un producto dentro de una máquina es inamovible, esto requiere de especial cuidado pues la aleatorización no puede intercambiar actividades que irrespeten el orden.

La figura 5.4 ilustra el algoritmo de generación de una población aleatoria para todos los centros de trabajo excluyendo los de troquelado e impresión que se muestran en las figuras 5.5 y 5.6 respectivamente.

La construcción de una matriz M para cada máquina en la que el orden de las operaciones ha sido completamente aleatorizada sin que se rompa la secuencia de fabricación es solo la primera parte de la generación de una solución inicial. Recordemos que la verdadera solución es el mínimo tiempo de *makespan* así que por delante aun esta el calcular los tiempos de inicio y finalización de cada una de las actividades dada la programación arrojada por la aleatorización.

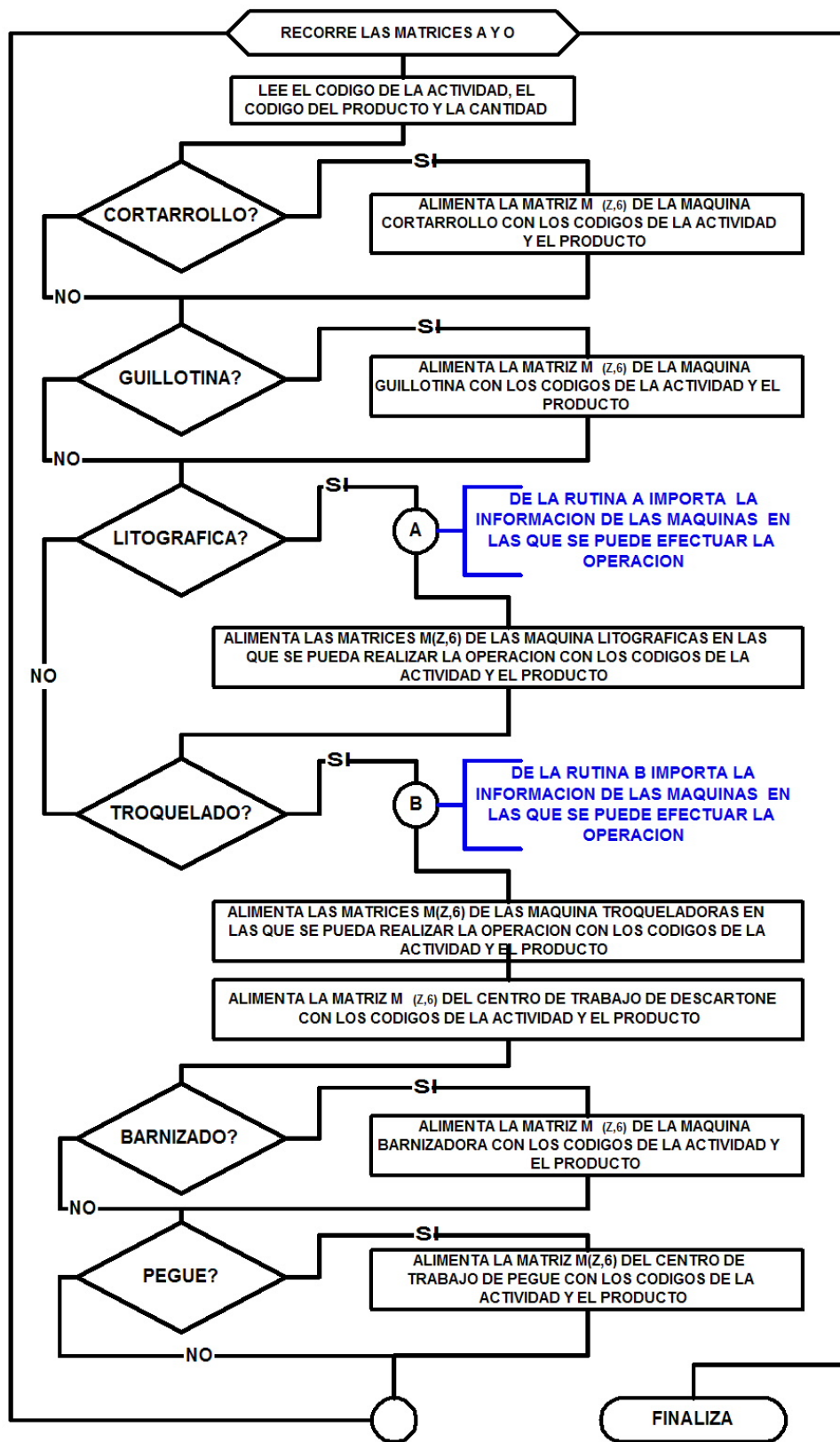


Figura 5.3: Algoritmo de construcción de secuencia

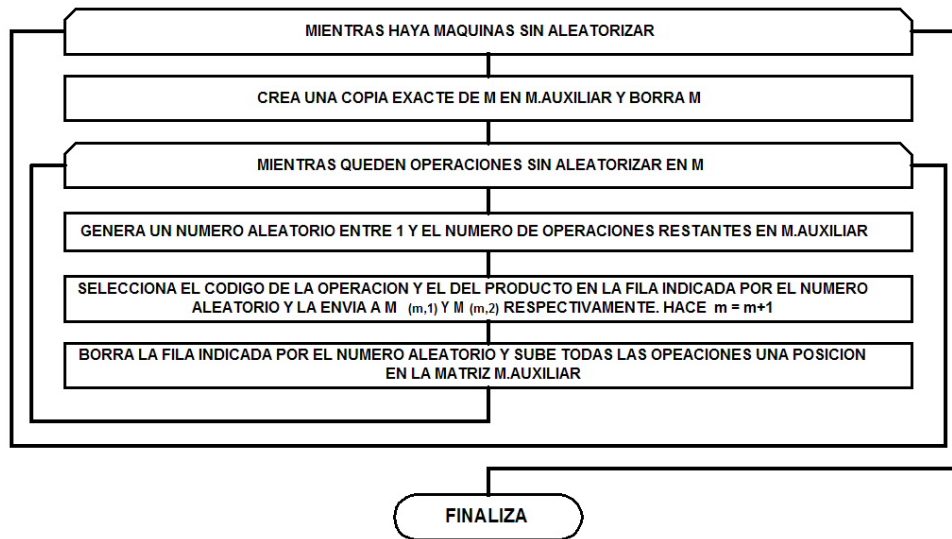


Figura 5.4: Aleatorización en maquinas diferentes a litográficas y troqueladoras

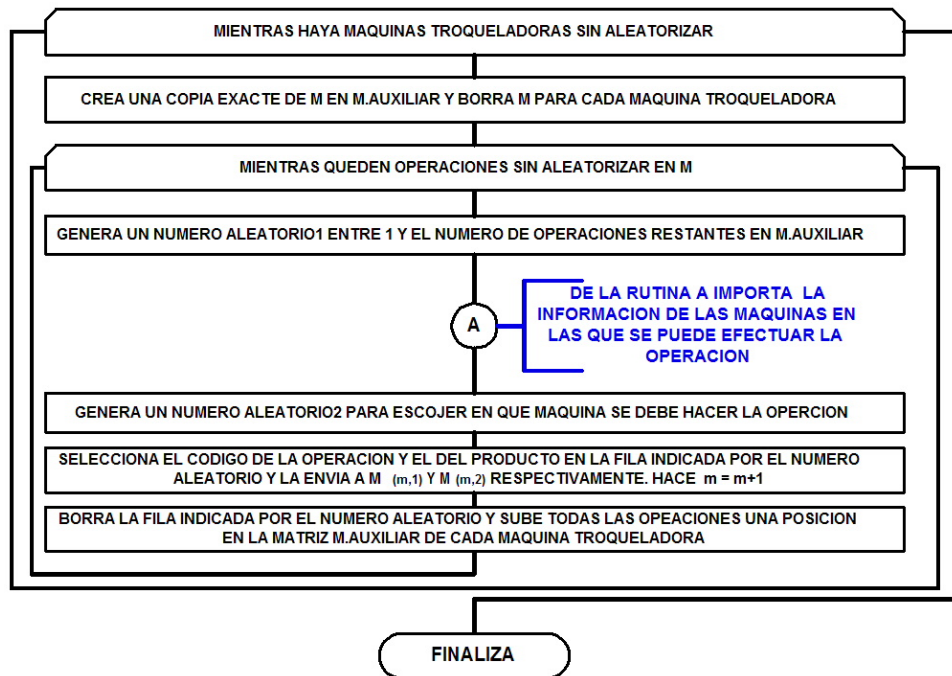


Figura 5.5: Aleatorización en máquinas troqueladoras

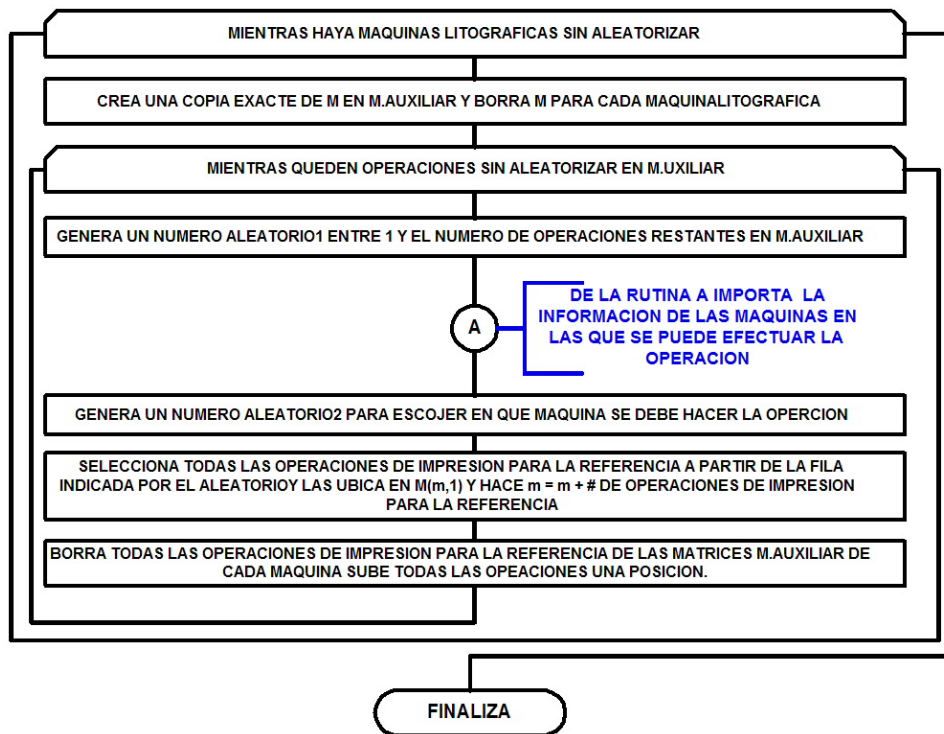


Figura 5.6: Aleatorización en máquinas litográficas

El procedimiento llamado *inicio* en el software, comienza llamando los algoritmos de cálculo de los tiempos de duración y el cálculo de los *TTI* expuestos en la sección 4.5.2. El algoritmo recorre las matrices M aumentando en cada paso el puntero m . El algoritmo *duracion* como se llama en el programa, recoge los códigos de las operaciones $m - 1$ y m así como el código del producto al que pertenecen cada una.

Después de ejecutado *duracion* se añade en la tercera columna de cada matriz M (que ya estaba definida pero se encontraba vacía) el tiempo de duración de la actividad en segundos. Por su parte los *TTI* son almacenados en la matriz O_1 a la que hacer referencia la sección 4.5.2.

Cuando las 12 matrices M se encuentran actualizadas con los tiempos de duración se prosigue a calcular el tiempo de inicio y finalización de cada actividad. El diagrama de la figura 5.7 explica de forma general el proceso lógico de calculo de $T_{inicio_{i,j}}$ y $T_{final_{i,j}}$.

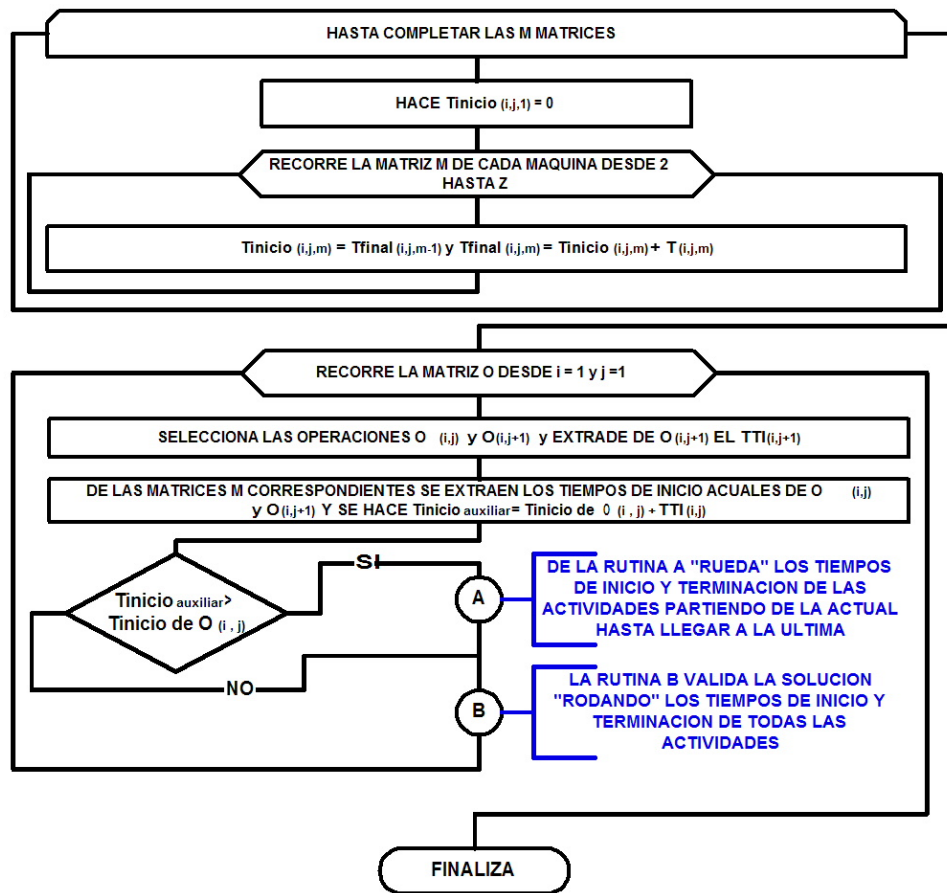


Figura 5.7: Calculo de los tiempos de inicio y finalización de las actividades dada la solución inicial

Las rutinas **A** y **B** de las que habla el diagrama 5.7 tienen como función ajustar los tiempos de inicio y finalización de las actividades. Por ajustar los tiempos se debe entender el calcular e incluir en las matrices M los nuevos tiempos de inicio y finalización de una actividad si el tiempo de inicio (y por tanto el de finalización) de su actividad predecesora ha sido alterado.

La figura 5.8 muestra en primera instancia el TTI de la actividad 02002001 para la referencia 90111 que es de 100Seg en la segunda parte de la ilustración ve aprecia una representación grafica de los vectores M de las maquinas que realizan las operaciones 01002001 y 02002001.

Como se puede ver, la solución inicial generada aleatoriamente determina que se fabrique primero la referencia 90345 en la máquina de la actividad 02002001, actividad que tiene una duración de 100Seg con lo cual la misma actividad para la referencia 90111 podría comenzar en el segundo 101. Sin embargo esto no es posible pues la actividad que la precede la 01002001 que se realiza en otra máquina solo puede terminar en el segundo 250 de forma que el tiempo de inicio de 02002001 para el producto 90111 debe ser ajustado hasta por lo menos el segundo 251 y su tiempo de terminación pasaría del segundo 200 al 350.

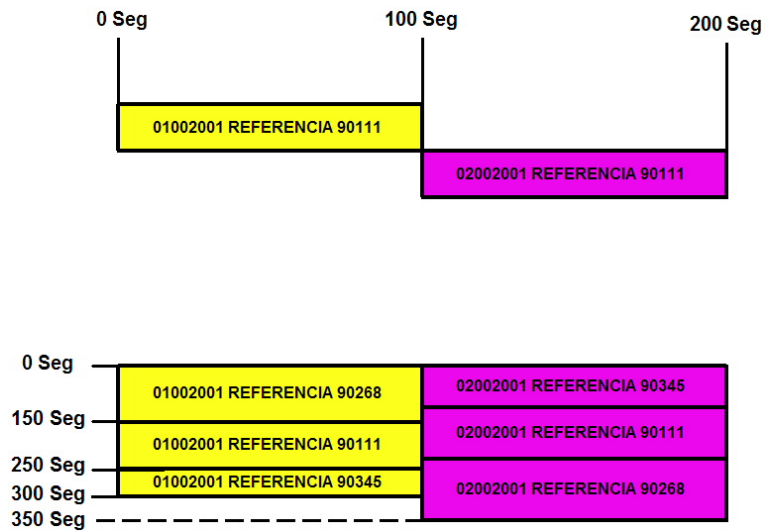


Figura 5.8: Ejemplo del ajuste de tiempos de iniciación y finalización

La rutina *comparatiempos* ajusta los tiempos de inicio y finalización de las actividades en los vectores. Una representación gráfica de lo que ocurre al interior de los vectores cuando se ajustan los tiempos, es presentada en la figura 5.9.

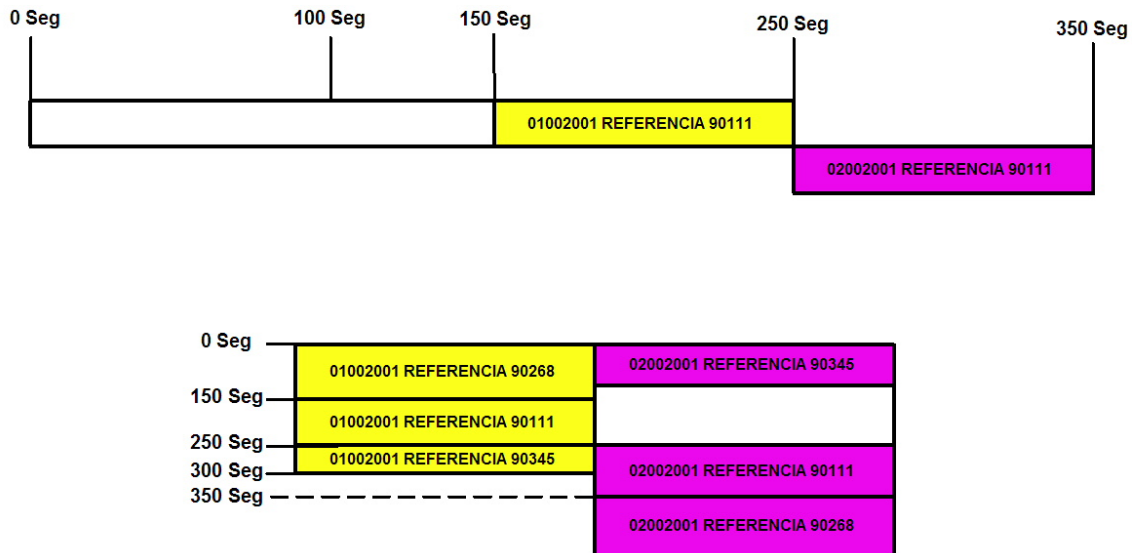


Figura 5.9: Ejemplo del rodaje de tiempos de iniciación y finalización

La función *convalidar* valida los tiempos, es decir, revisa que los tiempos de todas las actividades predecesoras y sucesoras de la actividad sean ajustados

Una vez el algoritmo de la gráfica 5.7 ha sido ejecutado, se tiene una solución validada que deber ser evaluada en la F.O. Para esto basta con recorrer las 12 matrices M y determinar cual es el mayor tiempo de finalización de una actividad lo que equivale a CM_{ax_i} .

Generación de soluciones vecinas

El vecindario es el espacio proximo a la solución actual en el que el algoritmo de recocido simulado busca una nueva solución factible que mejore el óptimo alcanzado. El vecindario se construye en el area adyacente a un punto de búsqueda (una solución actual) que como se explico en 1.2.5 no necesariamente es la solución que da a la función objetivo el valor óptimo actual.

Al igual que la solución inicial, los vecindarios son generados de forma aleatoria. Sin embargo no utilizan el mismo algoritmo que la solución de partida, pues el concepto de vecindario es el de una solución que se encuentre en un area cercana al la solución actual, mientras que la solución inicial generada por el algoritmo es creada de la nada y no tiene como base ningún punto de búsqueda.

El diseño de la generación de vecindarios no tiene una metodología sugerida y es diferente para cada problema que se intente solucionar utilizando el recocido simulado; De modo que cada investigador es libre de definir los limites del vecindario según su criterio.

Una solución para el **job shop problem** planteada en este trabajo puede contener entre 25 y 30 operaciones en las matrices M de las máquinas con mayor carga (las matrices de litografía, troquelado y descartone) y entre 5 y 10 en las estaciones de trabajo restantes. Dados estos valores, se consideró que un vecindario acorde al tamaño del problema podría ser el cambio de dos nodos en cada vector de máquina, con lo cual a cada iteración se estarían cambiando 12 operaciones de orden, al rededor del 10 % del total. Con lo cual el 90 % de la solución tomada como punto de búsqueda se mantiene.

Evidentemente estos cambios deben hacerse de forma en que las soluciones sean factibles, es decir sin irrespetar las restricciones de secuencia planteadas en la sección 4.3.

Esta salvedad es crítica en las actividades de litografía pues son estas las únicas estaciones de trabajo en las que es posible realizar mas de una operación para el mismo producto. Por esta razón al igual que en la generación de la solución inicial el algoritmo para la creación de vecindarios en este proceso varia ligeramente en comparación con el de las otras estaciones de trabajo. La figura 5.10 contiene el diagrama de flujo de la generación de una nueva solución partiendo de un punto de búsqueda.

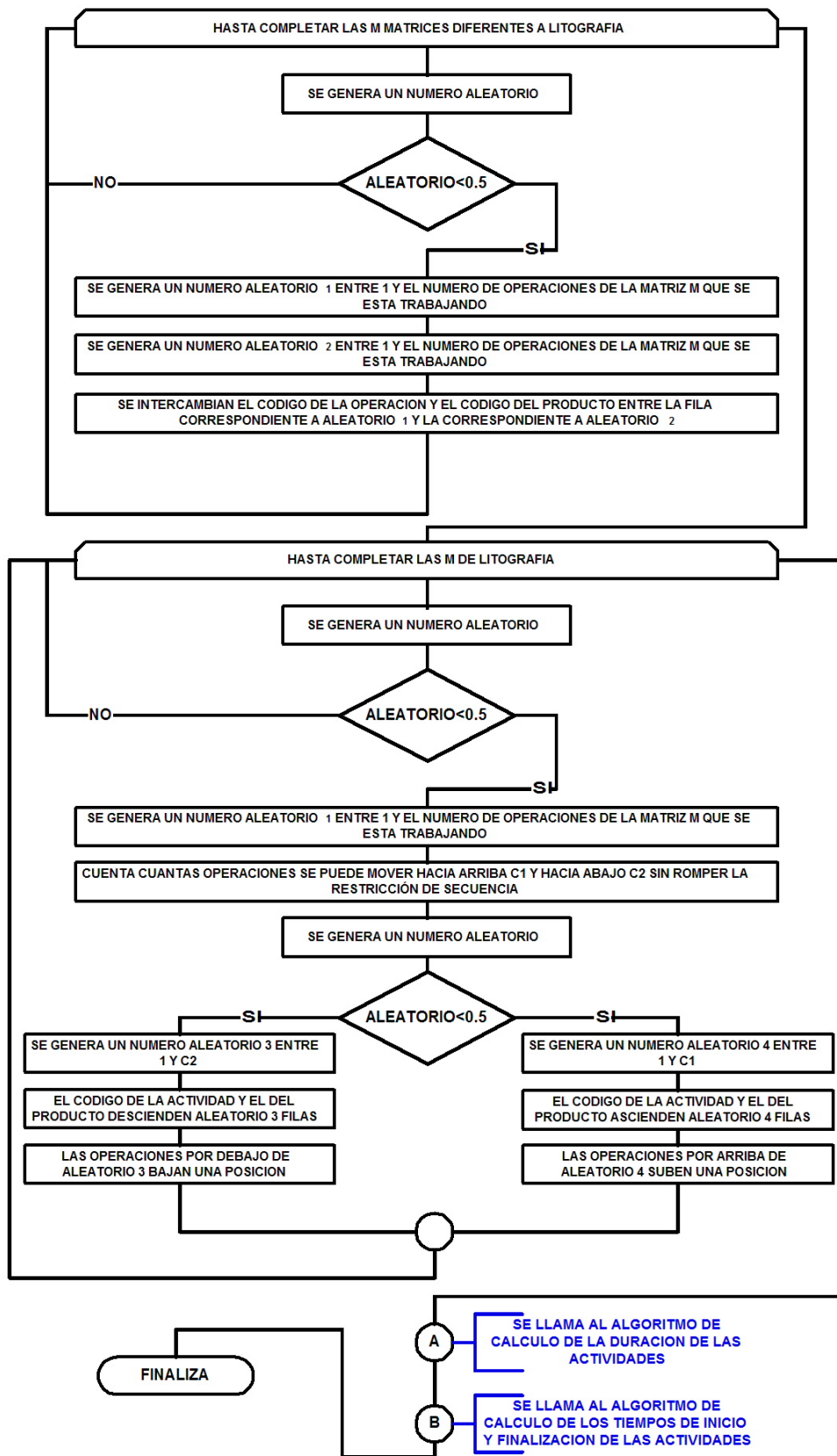


Figura 5.10: Diagrama de flujo del algoritmo de generación de nuevas soluciones partiendo de un punto de búsqueda o solución actual

Una vez se genera una nueva solución se llaman los algoritmos explicados en la sección 4.5.2 para el cálculo de la duración de las actividades y en la sección 5.1.2 con lo que la nueva solución queda completa y lista para ser evaluada en la F.O.

Diseño del programa de enfriamiento

El papel de la temperatura en el recocido simulado es brindar a través de la probabilidad de Boltzmann (Ecuación 1.1) un parámetro para decidir si una solución recién generada se convierte o no en un nuevo punto de búsqueda aun no siendo una solución que mejore el valor de la función de costos.

En la explicación del numeral 1.2.5 quedó claro que la probabilidad de que una solución que no mejora la F.O se convierta en un punto de búsqueda se deja abierta para darle la posibilidad al algoritmo de escapar de óptimos locales. Sin embargo esta disminuye a medida que la simulación avanza.

El diseño del cambio de la temperatura es vital en la construcción del algoritmo pues de esta depende que él logre cumplir su función en la búsqueda de un óptimo global. Si el enfriamiento es apresurado el algoritmo puede quedar atrapado en un óptimo global, en cambio si se disminuye la temperatura en cada interacción el sistema debe ser modelado como una cadena de Markov[7]. Muchos autores han estudiado por años diferentes formas de enfriamiento y han logrado diseñar **cooling schedules** (por su nombre en inglés) que convergen matemáticamente al óptimo global. Una de estas formas se explico en la sección 1.2.5 y será justamente esta la que utilizada por su sencillez y efectividad.

Lo primero que se debe definir en el **cooling schedule** es la temperatura inicial, esta no debe ser cercana a cero pues el algoritmo no aceptaría nuevas soluciones como puntos de búsqueda ni puede ser muy alta pues el algoritmo se tornaría bastante lento. Los autores (ver [9] y [12]) sugieren que la temperatura inicial sea aquella que le de a la probabilidad de Boltzmann un valor inicial de aceptación de soluciones alto, generalmente cercano al 90%. Despejando de la ecuación 1.1 se tiene:

$$Temp_{inicial} = \frac{-0,2 * makespan_{inicial}}{\ln(0,9)} \quad (5.2)$$

Esta es la temperatura que dado el makespan de la solución inicial da al algoritmo un 90% de probabilidad de aceptar una solución peor que la actual como nuevo punto de búsqueda. La regla de enfriamiento es función de $Temp_{inicial}$ y cumple con la siguiente igualdad.

$$T_{i+1} = c(T_i) \quad (5.3)$$

donde $c=0.95$

Esto quiere decir que cada vez que haya un descenso en la temperatura este sera del 5% de su valor actual.

La temperatura no debe ser actualizada en cada iteración pues se le negaría al algoritmo la posibilidad de explorar bien el vecindario de una solución ya que el punto de búsqueda cambiaría bruscamente de forma constante, lo que le restaría efectividad a la simulación. Por tal motivo se determinó que la temperatura sería actualizada cada L iteraciones donde $L = 10$ lo que se define como punto de equilibrio.

Definición de las condiciones de parada

La simulación termina cuando se cumplen uno o mas criterios de parada. Los criterios de parada dan fin al algoritmo y se cumplen cuando él ha logrado su objetivo.

Existen varios criterios de parada para el algoritmo de recocido simulado, para la realización de este proyecto se han tomado y adaptado los dos siguientes:

- Parar después de 10 ciclos (cambios de temperatura) sin que mejore la respuesta
- Parar cuando despues de 10 iteraciones la respuesta solo se haya mejorado en un 1 % o menos.

El primer criterio le da al algoritmo 100 iteraciones (10 a cada nivel de temperatura) sin encontrar una mejoría antes de parar (es lógico que este contador se reinicia cada vez que una mejor solución es encontrada). El segundo ahorra tiempo computacional pues cuando la solución solo mejore en un 1 % después de completar un nivel de energía (hacer todo un ciclo a una temperatura) se puede decir que el recocido ha alcanzado el nivel de minima energía y que la probabilidad de encontrar una mejor solución es casi inexistente.

Aunque ambos criterios parecen subjetivos y en cierto caso podrían evitar que se encontrase una solución de óptimo global, Hay que resaltar que el recocido simulado es una técnica heurística y que como tal lleva consigo implícitamente un riesgo de no obtención del óptimo global deseado, algo que solo los métodos analíticos pueden garantizar. Luego el riesgo que se corre de parar la simulación antes de encontrar la mejor solución es el inherente a la técnica y no debe preocupar.

5.2. SOFTWARE PARA LA SECUENCIACIÓN DE PRODUCCIÓN

5.2.1. Escogencia del lenguaje de programación

Aunque computacionalmente lenguajes como JAVA ofrecen una gran exactitud matemática en la generación de números aleatorios y en las aproximaciones de decimales, se tomó la decision de utilizar Visual Basic (VB) en la escritura del software por su facilidad de uso y la posibilidad de integrarse con excel (formato en el que se encuentran las bases de datos) de forma mas fácil que cualquier otro lenguaje de programación. Además la exigencia matemática de los algoritmos no exigía una convergencia superior a la que ofrece VB.

5.2.2. Diseño de la interface

El software es el puente entre los algoritmos y el usuario. De nada serviría diseñar los mejores algoritmos de optimización si no existe una herramienta que haga posible su interacción con un usuario que pueda alimentarlos, ejecutarlos y luego utilizar sus resultados en el proceso de toma de decisiones.

Una vez diseñados los algoritmos de optimización y las bases de datos, se requería desarrollar una aplicación que los integrara todos bajo una sola interface de fácil uso y comprensión para cualquier usuario. A esta aplicación se le denominó **programa de producción** y será materia de estudio en esta sección.



Figura 5.11: Para facilitar la instalación del programa se diseñó un installwizard y un instructivo de uso (manual de usuario)

El software cuenta con cuatro módulos principales: Base de datos de productos, Inventarios, Programación de producción y Ordenes de producción.

A cualquiera de ellos se puede acceder desde el menú principal mostrado en la figura 5.12. El funcionamiento de los módulos de **Base de datos de productos** e **Inventarios** fueron explicados en los numerales 3.1 y 5.1.1 respectivamente (el submenú "TINTAS" se explicó en el numeral 3.4.1). El **Sistema de medición de tiempos** fue ampliamente tratado en el numeral 3.2.

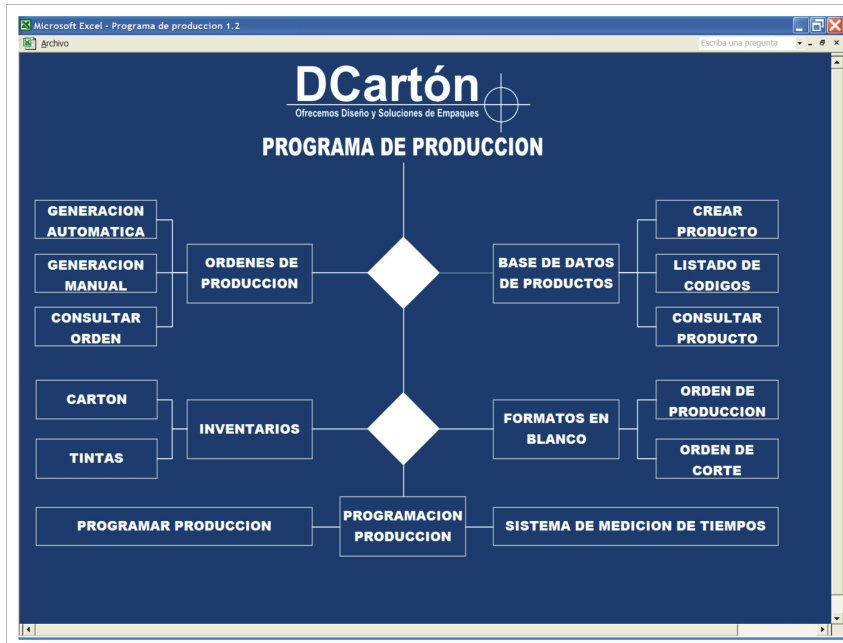


Figura 5.12: Menu principal del programa de producción

CODIGO	CANTIDAD	FECHA DE ENTREGA PACTADA PARA EL PEDIDO	Mat Prima Cortada		FECHA DE ENTREGA PACTADA PARA MATERIAS	CORTE
			SI	NO		
90111	1030		X			1
90268	10000					
90345	3090		X			1

Figura 5.13: Listado de pedidos para un periodo con tres referencias a producir

Cuando se accede al módulo **programación de producción** se llega a la instancia mostrada en la figura 5.13. que contiene 6 botones con funciones determinadas que serán explicadas a continuación.

NUEVO PEDIDO	Activa un par de cuadros de diálogo que preguntan al usuario el código del producto que se desea incluir en la lista de pedidos y su respectiva cantidad de unidades y lo adiciona a la tabla.
BORRAR PEDIDO	Encuentra en la lista la referencia escogida en el menú desplegable de la parte superior izquierda y lo elimina de la forma.
PROGRAMAR MATERIAS PRIMAS	Lleva al usuario a la pantalla de programación automática de materias primas que será explicada mas adelante.
PROGRAMAR PRODUCCIÓN	Activa el algoritmo de recocido simulado. Si no se han programado materias primas para una o mas referencias, un cuadro de diálogo hará la advertencia y se abortará la ejecución del algoritmo.
VER PROGRAMACIÓN DEL PERIODO	Lleva al usuario a la programación de producción resultante de la corrida del algoritmo de secuenciación.
BORRAR LISTADO	Borra la totalidad del listado de pedidos.

Una vez seleccionada la referencia en el menu desplegable, el **botón programación de materias primas** lleva al usuario a la instancia que muestra la figura 5.14 en donde se tienen las siguientes opciones.

- Desperdicio manual o automático
- Deltas manuales o automáticos

El sistema experto le brinda la posibilidad al usuario de programar el porcentaje de desperdicios a considerar en la programación de la materia prima y el valor que toman los deltas durante la corrida del algoritmo de programación (el significado de los deltas y del desperdicio así como sus valores por defecto se explican en 5.1.1).

Hecha la elección del tipo de desperdicio y deltas el usuario tiene dos opciones, programar las materias primas utilizando el algoritmo o hacerlo de forma manual.

Si el usuario escoge utilizar el algoritmo, este tomará la decisión por el usuario y seleccionará las materias primas según su criterio (el funcionamiento de este algoritmo se explica en la página 79) de otra forma el usuario sera llevado a la pantalla que muestra la figura 5.15.

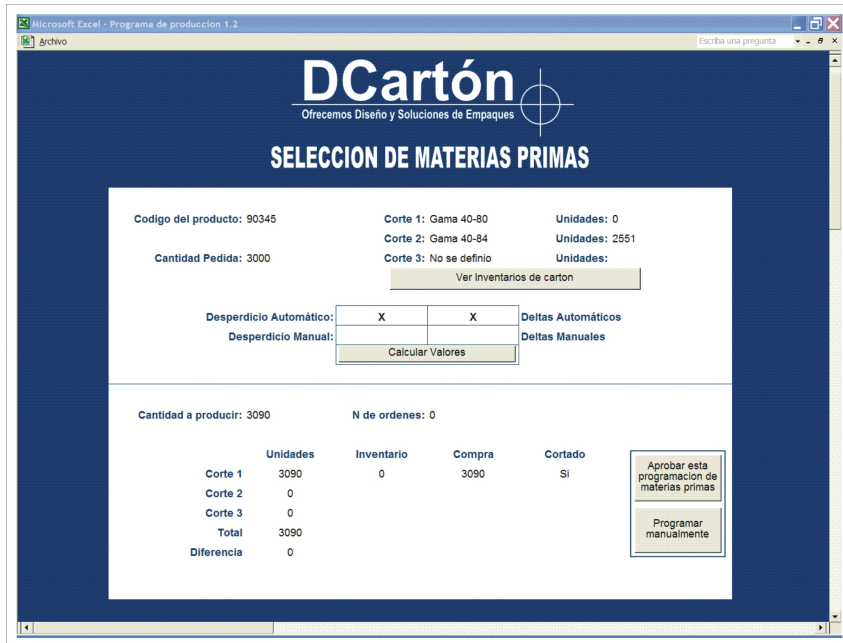


Figura 5.14: Pantalla de selección automática de materias primas

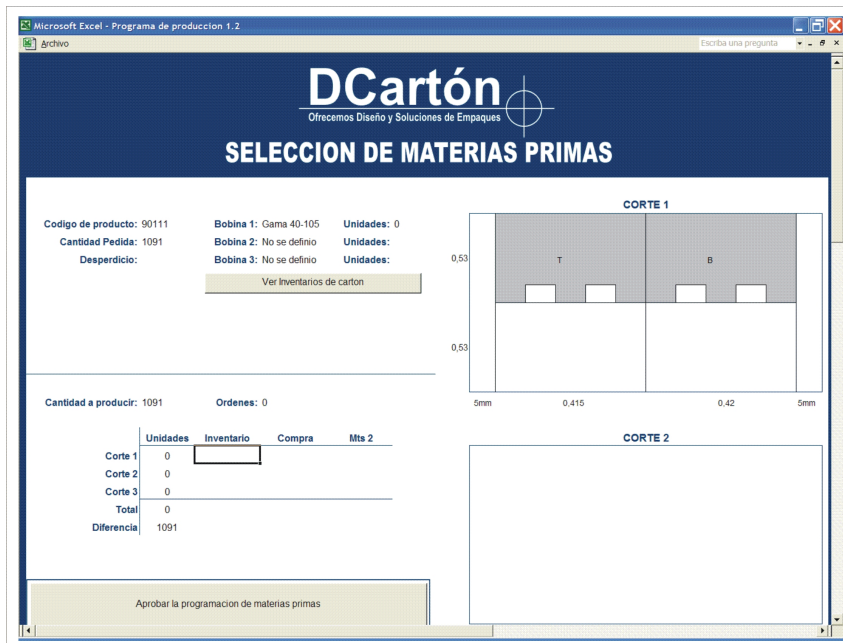


Figura 5.15: Pantalla de selección manual de materias primas

Cuando una programación de materias primas es aceptada por el usuario sin importar si esta fue generada por el algoritmo o por él mismo, el software determina si existe una compra de materia prima. De ser así antes de regresar al listado de pedidos generará de forma automática la orden de compra del cartón. La figura 5.16 muestra la orden de compra emitida por el sistema.

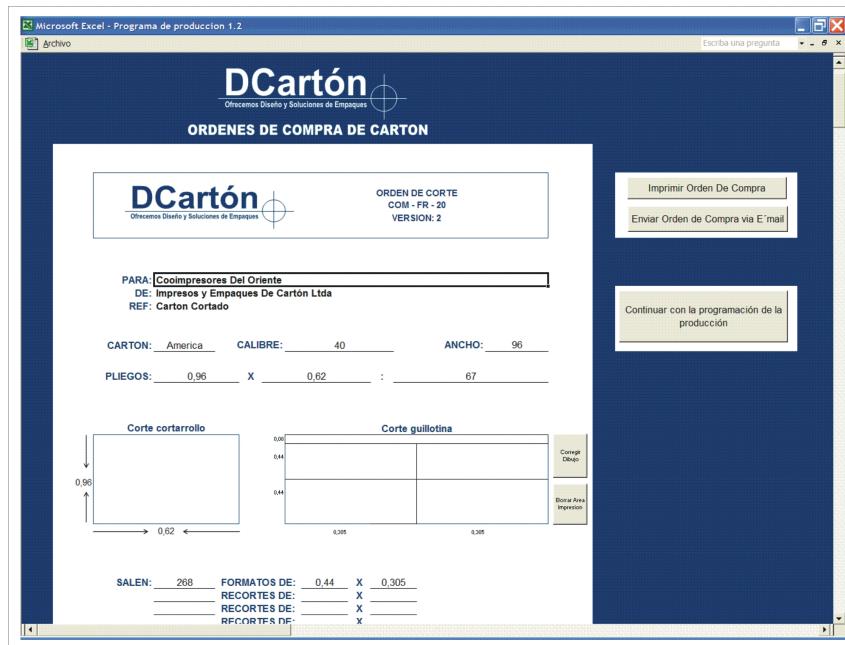


Figura 5.16: Orden de compra generada por el software: El usuario solo debe ingresar el nombre del proveedor y la fecha en la que se debe entregar el cartón

Aprobada la programación de materias primas y emitida la orden de compra, el software regresa al listado de pedidos. La referencia cuya materia prima acaba de ser seleccionada aparecerá en gris para indicarle al usuario que este paso ha sido completado. Este procedimiento debe ser ejecutado para cada una de las referencias en la tabla de pedidos.

La instancia de la programación de materias primas puede parecer dispendiosa y consumidora de tiempo pero aunque programar el software para que la ejecute por si mismo no representa mayor dificultad, debemos tener siempre presente que un sistema experto trata de no ser un decisor autónomo y de requerir siempre que sea posible el consentimiento del usuario antes de tomar una decisión. Es por eso que la interacción software-cliente es necesaria.

Una vez se ha concluido la programación de materias primas para los *i* trabajos se puede continuar con la secuenciación de las actividades.

Haciendo click en el botón **Programar producción** en la hoja del listado de pedidos, el algoritmo de recocado simulado se activará y comenzará con la secuenciación de la producción, el tiempo de cómputo puede tomar entre solo un par de minutos hasta periodos de mas de 15 minutos dependiendo del numero de pedidos y la complejidad de cada uno de ellos.

Cuando se ha detenido la simulación y se ha obtenido el *makespan* óptimo el software se situará sobre una pantalla en la que se muestran los resultados de la simulación. En ella se puede consultar la programación de las actividades de producción por máquina y desde ella generar las órdenes de producción. La figura 5.17 muestra el entorno de la pantalla de resultados.

DESCARTONE		CORTARROLLO				
CODIGO	REFERENCIA/CLIENTE	BOBINA	LARGO	CANTIDAD		
90345	TORTA X 3 - THE COOKIE COMPANY	Gama 40 - 80	0.79	3990		
90111	LIBRA - FUENTE PUERTA DEL SOL	Gama 40 - 105	0.845	1030		

Figura 5.17: Resultados de la simulación

Utilizando el menu deplegable de la esquina superior izquierda, el usuario puede consultar la programación para cada uno de los centros de trabajo.

Uno de los componentes del software que más utilidad tiene por la enorme cantidad de tiempo que permite ahorrar, es el de la generación de ordenes de producción. El usuario tiene la posibilidad de generar automáticamente la orden de trabajo para cada una de las referencias desde la pantalla de resultados; Basta con seleccionar el código del producto en el menu desplegable y hacer click en el botón **Generar la orden de producción**.

El software consultará de forma inmediata la información de la programación de producción y la base de datos del producto para obtener toda la información técnica y del pedido que debe contener la orden de producción y llenará con ella un formato como el presentado en la figura 5.18.

La orden de producción ofrece información sobre los códigos de planchas, tintas y cartones, que permiten que el auxiliar de producción que prepara las órdenes de trabajo para su realización economice tiempo en su labor y el proceso esté mas estandarizado. Con la generación de las órdenes termina el procedimiento de programación de la producción.

Microsoft Excel - Programa de producción 1.2

Archivo Escriba una pregunta

DCartón

Ofrecemos Diseño y Soluciones de Enpaques

ORDENES DE PRODUCCION

DCartón
Ofrecemos Diseño y Soluciones de Enpaques

ORDEN DE PRODUCCION
PCC - FR - 15
VERSION: 1

Codigo: 80368
Cliente: Cacaro
N.Pedido: 06/05/1942
Cantidad: 1070

ORDEN:
816

Referencia: Tapa Pequeña
Dimensiones: 21 x 15
Fecha:
Fecha de entrega:

INFORMACION SOBRE CARTON Y CORTES

Tipo carton: **America**

Calibre: **40**

Corte cortarrullo

Corte gullotina

Pilegos: 67
Formatos: 1072
Mz: 39.8784

OBSERVACIONES:

Und
0

INFORMACION SOBRE IMPRESION

INFORMACION SOBRE TROQUELADO Y PEGUE

Figura 5.18: Orden de producción generada por el software

Parte III

CONSIDERACIONES FINALES

Capítulo 6

CONCLUSIONES

Después de 7 meses de trabajo en la investigación y desarrollo de la arquitectura, quedan conclusiones de tipo académico, experimental y personal que vale la pena compartir con cualquiera que tenga en sus manos este proyecto.

6.1. CONCLUSIONES SOBRE EL PROYECTO

- El sistema de producción empleado por Impresos y Empaques DCartón Ltd responde al modelo del **job shop** o taller de trabajo, en el que cada producto tiene distintas especificaciones (aunque muchos pueden coincidir) y la secuencia de actividades de fabricación varía de referencia en referencia de forma independiente.
- En la programación de la producción existen dos decisiones generales que deben ser tomadas, el tipo y procedencia de la materia prima (inventarios o compras) y la programación tareas en las estaciones de trabajo.
- El sistema desarrollado para la selección de materias primas ha sido construido con base en el proceso mental del experto en esta área en la empresa y no en un algoritmo de optimización.
- En el problema de la secuenciación de actividades en las estaciones de trabajo ha sido utilizada como herramienta de análisis la técnica heurística del recocido simulado; que permite encontrar un óptimo global con una convergencia matemática no ofrecida por otras técnicas del mismo tipo.
- La modelación de las reglas de decisión que constituyeron el motor de inferencia (los algoritmos de solución) representó la mayor dificultad en la realización del proyecto, pues llevar los posibles acontecimientos del piso del taller a un esquema lógico-matemático que los represente fielmente es casi imposible; Fue necesario para ello introducir en los modelos asunciones que aunque no les restan validez los alejan algo de la realidad.
- Construir el sistema de medición de tiempos (que hace parte de la base de hechos o conocimientos) implicó un reto tanto para el investigador como para los funcionarios del área de producción

de la empresa pues fue en ellos en quienes a través del empoderamiento se delego el éxito o fracaso del sistema al responsabilizarlos de la toma de tiempos de las actividades que realizan.

- Se desarrolló una interface entre los algoritmos de solución y el usuario de la forma mas amigable posible dado el nivel medio de intimidad con los sistemas informáticos que tienen la mayoría de las personas que utilizarán el sistema.
- La metodología diseñada para el desarrollo de este proyecto funcionó de modo muy satisfactorio y demostró ser útil para cualquiera que pretenda emprender un trabajo de este tipo.

6.2. CONCLUSIONES PERSONALES

- La modelación de sistemas de producción reales puede ser más complicada de lo que parece, convertir sucesos reales en hipótesis computacionales exige un profundo conocimiento del sistema sobre el que se está trabajando, es necesario que el investigador dedique una cantidad de tiempo significativa en la observación del funcionamiento del sistema para logre comprender todos los escenarios que se pueden llegar a presentar y las variables que los definen, antes de ir al lenguaje de programación a intentar escribir algoritmos computacionales.
- Las herramientas heurísticas ofrecen la posibilidad de representar la realidad de forma mas adecuada que los métodos analíticos, sin embargo los últimos garantizan la obtención de un óptimo global que la simulación no puede prometer; De cualquier forma en este tipo de problemas de secuenciación en los cuales los sistemas tienen tantas variables que condicionan una decision, la simulación se presenta como la alternativa natural para el análisis.
- Los problemas de secuenciación y mas aun los métodos para encararlos son campos de acción de la ingeniería industrial en los que no se profundiza lo suficiente en nuestro país. La poca investigación en el tema que se realiza en las facultades de ingeniería industrial y la falta de incentivos por parte del empresariado para emprenderlas priva a las pequeñas empresas de contar con herramientas valiosas para aumentar su productividad y enfrentar el difícil mercado en el que se desarrollan sus negocios.

Capítulo 7

RECOMENDACIONES

Aunque los modelos planteados en este proyecto son una representación bastante aceptable de la realidad de la empresa, aun existen muchas variables que se pueden incorporar en una eventual expansión de este trabajo y que lo harían aun mas útil para la compañía de lo que esta siento actualmente.

- Aunque la interface del software es adecuada a los requerimientos del usuario y los algoritmos de computación pueden ser manejados por máquinas de capacidades normales, la conversion del software y en especial de las bases de datos a otro tipo de paquetes como Access o Java aligerarían el paquete informático y mejorarían el rendimiento computacional de la arquitectura.
- Variables que fueron dejadas fuera de este desarrollo piloto, como una fecha de entrega de pedidos al cliente, la posibilidad de partir el lote, la asignación de prioridades a los pedidos y la posibilidad de partir el lote de transferencia utilizando un algoritmo de cálculo de lote económico harían mas robusto el sistema y le permitirían a la comprometerse con fechas de entrega y reducir aun mas el maskespan de la corrida de producción.
- Diseñar un módulo de seguimiento del cumplimiento del programa de producción permitiría a la empresa el conocimiento en tiempo real del estado de cada uno de los pedidos y las predicciones de cumplimiento, a demás de aportar información de carácter estadístico para contraste de tiempos y asignación de probabilidades a eventos.

Bibliografía

- [1] Aula ETSEIB *Organización de la producción II, Dirección de operaciones IV* Escuela técnica superior de ingeniería industrial de Barcelona, 1991
- [2] Banks Jerry *Handbook of Simulation : Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice* Interscience, 1998
- [3] Bauhaus-Universität Weimar <http://www.uni-weimar.de>
- [4] Blazewicz Jacek, Domscheke Wolfgang *The Job Shop Scheduling Problem* European Journal of Operational Research, 1996
- [5] Chase, Aquilano, Jacobs *Administración de Producción y Operaciones* Editorial McGrawHill, 2002
- [6] Donald E. Knuth. *The T_EXbook*, Tomo A de *Computers and Typesetting*, Addison-Wesley Publishing Company 1984, ISBN 0-201-13448-9.
- [7] Fleischer Mark *Simulated Annealing Past, Present and Future* Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1995
- [8] Garrido, Marzal, Sebastian, Barber *Un Modelo de Integración de Planificación y Scheduling* Proceedings of the VIII Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial, 1(3), 1-9. 1999
- [9] Insua, Martin *Simulación, Metodos y Aplicaciones* Editorial ALFAOMEGA, 2000
- [10] Niebel, Freivalds. *Ingeniería Industrial Metodos, Estandares y Diseño del Trabajo*, Editorial ALFAOMEGA, 2001
- [11] Niño Miriam *Modelamiento a Travez de la Programacion Lineal Entera Mixta del Problema de Programacion de Operaciones en el Taller de Trabajo* UIS Ingenirerías, Volumen 2, Numero 1, 2002
- [12] Pham, Karaboga *Intelligent Optimization Techniques* Srpinger, 2000
- [13] Salvat Editores. *Diccionario Salvat Ilustrado*, Cuarta Edicion 1989
- [14] Taylor and Francis Eds *Applied Artificial Intelligence* International Journal. (ISSN: 0883-95-14)