

13  
2 es



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON**

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACION PARA LA EVALUACION DE LA TOMA DE DECISIONES EN LA MODIFICACION DEL AREA DEL DEPARTAMENTO DE AUDITORIA FINAL, DENTRO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA DE AUTOPARTES

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

P R E S E N T A

**MIGUEL GOMEZ LECUONA**

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACION PARA LA EVALUACION DE LA TOMA DE DECISIONES EN LA MODIFICACION DEL AREA DEL DEPARTAMENTO DE AUDITORIA FINAL, DENTRO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA DE AUTOPARTES**

**C O N T E N I D O**

**INTRODUCCION**

**1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS**

- 1.1 Características Generales
- 1.2 Conceptos Generales
- 1.3 Introducción al Sistema Laboral y el estudio del Trabajo
- 1.4 La ciencia en la Dirección de Operaciones

**2. SIMULACION POR COMPUTADORA**

- 2.1 Modelos
- 2.2 Definición de Simulación
- 2.3 Pasos para un estudio de Simulación
- 2.4 Aplicaciones de la Simulación

**3. INFORMACION GENERAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO**

- 3.1 Breve Bosquejo del Sistema Productivo
- 3.2 Organización General del Sistema Productivo
- 3.3 Descripción General de los Procesos de Producción

**4. APLICACION Y DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACION**

- 4.1 Planteamiento del problema
- 4.2 Análisis de la situación
- 4.3 Planeación y desarrollo del modelo
- 4.5 Codificación, ejecución y análisis de resultados

**5. ALTERNATIVAS DE SOLUCION**

- 5.1 Principales Problemas externos
- 5.2 Establecimiento de Bases para la mejora
- 5.3 Planteamiento de soluciones practicables
- 5.4 Toma de decisiones

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

## I N T R O D U C C I O N

Actualmente los negocios e industrias enfrentan con gran rapidez un sin número de problemas de gran magnitud y complejidad. Las herramientas de la Ingeniería Industrial y el análisis de sistemas desempeñan un papel cada vez más importante en la resolución de tales problemas.

Los modelos de simulación se han convertido en una técnica que ayuda a la dirección empresarial en la toma de decisiones de toda inversión (a corto, mediano y largo plazo), a la vez que se conjuga con la política empresarial, motivo que induce a la optimización de la rentabilidad de cada inversión. En este sentido, la empresa tiene que competir con el mercado financiero, convirtiéndola, en sí, en una inversión a largo plazo, lo cual hace imprescindible desarrollar estrategias que garanticen la máxima rentabilidad.

El simulador es una herramienta que ayuda a definir un problema, siendo el vehículo analítico para determinar elementos, componentes y aspectos críticos para el desarrollo del proyecto, además de sintetizar y evaluar las soluciones propuestas así como la planeación de desarrollos futuros.

## **1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS**

### 1.1 Características Generales.

No es extraño que una sociedad altamente desarrollada y muy bien organizada dedique considerables esfuerzos al estudio de los sistemas productivos de toda clase. En años recientes, el estudio de sistemas ha estimulado la imaginación de prominentes hombres de ciencia competentes y especializados en ingeniería, matemáticas, economía y administración de empresas, fisiología, psicología, etc. Este amplio campo de investigación relativo al funcionamiento de los sistemas productivos es necesariamente multidisciplinario, conjuga muchas disciplinas básicas, ya abarca a la vez los sistemas físicos, sociales y económicos. Así, encontramos trabajos importantes que tienen como objetivo central los problemas generales de organización de los sistemas sociotécnicos. Otros trabajos importantes han adoptado un enfoque ingenieril en el diseño físico de tales sistemas y sus componentes. Una amplia variedad de problemas específicos y generales relativos a la toma de decisiones ha servido como base para este trabajo, por ejemplo, los problemas de reposición de equipo, el problema de inventarios, y la programación y calendarización de la producción. Todo este gran campo de estudio se conoce ahora como la "dirección de operaciones", que es el estudio de las "operaciones" de cualquier actividad consideradas conjuntamente con los problemas gerenciales de la toma de decisiones pertinentes.

Dentro del campo general de la dirección de operaciones, se ha dedicado enorme cantidad de esfuerzos a la investigación y al desarrollo tecnológico de subsistemas de flujo físico, diseño y control.

### *Perspectiva General.*

En primer término, cuando se habla de sistemas productivos se piensa en algo más que en la mera producción física. Si se adopta la definición general de los economistas, según la cual "la producción es el proceso mediante el cual se crean bienes y servicios", se alcanza una amplia perspectiva de los sistemas productivos que abarcan una enorme gama de actividades ya sea en el gobierno, educación, transporte, distribución, industrias manufactureras y de turismo. En todos los sistemas productivos existe algún proceso de transformación, que representa la creación de bienes y servicios. En la manufactura, se trata de una transformación física de las materias primas que intervienen como insumos para crear un producto. En la distribución de cualquier producto, la transformación se refiere a la disponibilidad en un lugar, en relación con su disponibilidad en otro lugar y tiempo. Para entender el enfoque de este trabajo sobre los sistemas producción e inventario, a menudo habrá que entender el sistema de manufactura y el de distribución como un gran sistema global de flujo, ya que los dos sistemas no son independientes entre sí.

En otras clases de sistemas productivos, lo que se transforma puede ser información sobre un pedazo de papel o en una computadora, como sucede en los bancos y en las oficinas administrativas de escuelas y dependencias gubernamentales principalmente. En los hospitales, que ahora se estudian con gran meticulosidad como sistemas operacionales, la actividad se centra en el desafortunado paciente, con la esperanza de "transformarlo" en un hombre sano.

### *Cinco clases Principales.*

En la práctica, los sistemas productivos tienden a caer dentro de alguna de las cinco categorías generales de sistemas. Muy a menudo, las fronteras del sistema que se desea analizar o diseñar pueden incluir únicamente una parte de un modelo general más amplio, por ejemplo, sólo la etapa de distribución y mercadeo. Por supuesto, cuando únicamente se considera una porción del sistema, se corre el riesgo de ignorar importantes conexiones con otras partes del sistema global. Por otra parte, es posible que existan limitaciones sobre la parte del sistema en que se ejerce un control administrativo, y ésta podría ser justificación válida para obligar el examen a una porción del sistema total. Una de las clasificaciones principales puede ser considerada como un sistema de inventarios casi puro, tal como se encuentra en las operaciones de distribución al menudeo y al mayoreo y en muchas situaciones de abastecimiento militar.

Pero la fragmentación del sistema global no constituye la única base de las clasificaciones comunes. La otra base principal es la naturaleza de la actividad productiva que depende usualmente de la función de demanda. Cuando la demanda se refiere a un volumen relativamente grande de un producto estandarizado, de ordinario encontraremos líneas de producción cuidadosamente diseñadas para producir artículos en masa. A estos sistemas se les llama comúnmente continuos, cuyo ejemplo típico son las líneas de producción de las empresas automovilísticas.

Cuando la demanda se refiere a artículos a la medida, o bien, cuando la tecnología de producción crea una situación en que la capacidad es muy grande en relación con la demanda del artículo, el sistema productivo debe ser flexible para poder adoptarlo a una gran variedad

de estilos, tamaños o diseños. Encontramos ejemplos de esto último en los sistemas establecidos para producir partes metálicas o de inyección de plástico. A tales sistemas se les llama comúnmente a la orden o intermitentes, y los ejemplifica el taller de máquinas-herramienta. Distinguiendo dos tipos de trabajos a la orden: abiertos y cerrados.

Por último, hay un tipo de sistema de trabajo a la orden que representa por sí mismo un caso especial, el proyecto a gran escala que se hace una sola vez, por ejemplo, la construcción de edificios y los grandes proyectos de desarrollo, tales como el Transbordador Voyager.

*Sistemas continuos* (inventarios puros y de producción-inventario). En los sistemas meramente de inventarios y de producción continua, el proyecto de diseño y la operación depende de los requerimientos básicos de la producción para las existencias o inventarios, así como de su nivel, para satisfacer rápidamente las variaciones de la demanda cuando ésta se manifiesta al consumidor, distribuyendo, produciendo, o adquiriendo la materia prima.

*Sistemas intermitentes* (abiertos y cerrados). En los sistemas intermitentes todo se relaciona con el requerimiento básico de mantener instalaciones y fuerza de trabajo "con el inventario", para satisfacer las necesidades de una demanda que varía según el diseño, estilo y requerimientos tecnológicos. Así, el taller de máquinas para trabajos a la orden dispone de equipo y mecánicos calificados para ejecutar amplia variedad de operaciones con distintos metales de diferentes tamaños, tipos, diseños, etc. Si el número de pedidos baja temporalmente, tal organización no vende ni despide a sus maquinistas calificados, ya que es esta capacidad la que tiene para venta. Aquí

hay una concentración diferente que en el caso de sistema de productos estandarizados de alto nivel de producción; ahora los problemas de inventarios se relacionan en gran medida con los inventarios de materias primas y de productos en proceso, y el problema de la elaboración de calendarios se concentra más en el uso de las piezas de equipo individuales que en la fábrica en conjunto. El sistema de los talleres de trabajos por ordenes se pueden dividir en sistemas abiertos y cerrados. Un taller de trabajos por ordenes abierto puede recibir pedidos de los clientes, mientras que el sistema de taller cerrado es cautivo de una empresa.

El sistema de proyectos en gran escala que se hacen una sola vez puede tener un modelo estructural no muy diferente del que representa el taller de trabajos por ordenes. Los tiempos de realización a lo largo del sistema son, sin duda, mucho mayores en el sistema de proyectos, debido a su inmensa complejidad. Debido a la complejidad de las operaciones, secuencias e interpelaciones, algunos de los problemas importantes se refieren a la planeación y elaboración de calendarios para esta red de operaciones y a la determinación del tiempo máximo (el camino crítico) a lo largo de una red.

Se sabe que es útil el esquema de clasificación básica del sistema continuo e intermitente.

En términos prácticos, la mayoría de los sistemas reales que existen se clasifican como pertenecientes en forma predominante a una clase o la otra, pero se encontraran con mayor frecuencia alguna combinación de sistemas. Por ejemplo, un pequeño productor de artículos de plomería puede producir para sus existencias, con una instalación productiva que se asemeje más a un taller de trabajos intermitentes. La clasificación siguiente indica su comportamiento:

Los Sistemas continuos son Sistemas de inventario puros y Sistemas de producción-inventario para altos volúmenes, y

Los Sistemas intermitentes son Talleres de trabajos por ordenes abiertos y Talleres de trabajos por ordenes cerrados.

*Proyectos a gran escala.* Resulta de un valor considerable como una manera para organizar los conocimientos acerca de los sistemas de producción-inventario. Esta clasificación es especialmente útil en el proyecto, diseño y distribución de las instalaciones físicas y como base, para diseñar los sistemas de calendario más apropiados para hombres y equipos.

Otra base para un sistema de clasificación depende de que los inventarios de productos finales se conserven o no en el sistema para su venta o empleo inmediato. Desde este punto de vista, los sistemas continuos antes mencionados, implican inventarios de bienes terminados que se mantienen listos para satisfacer la demanda. Pero algunos sistemas de manufactura intermitente también producen para los inventarios cuya característica es común con los sistemas continuos. Las empresas pueden estar físicamente dispuestas e internamente programadas, como los sistemas intermitentes, pero producen un volumen conocido de productos, mediante un ciclo basado en pronósticos de la demanda. Estos son los talleres de trabajos cerrados, tales como los talleres mecánicos de las grandes empresas automovilísticas y de autopartes. En los talleres de trabajos cerrados, el tiempo del equipo se reparte entre muchos productos diferentes, y los productos se fabrican para el inventario, porque son de diseño uniforme y tienen mercados previsibles. A estos talleres intermitentes se les llama cerrados, porque no están disponibles para pedidos a la orden, en contraste con los talleres de

clientes que producen a la orden los artículos que éstos les piden. En consecuencia, se tiene la siguiente clasificación:

Los Sistemas de productos inventariables son Sistemas de inventarios, Sistemas de producción-inventario para gran volumen y Sistemas de talleres de trabajos por ordenes cerrados.

Los Sistemas de productos no inventariables son Sistemas de talleres de trabajos por ordenes abiertos y Proyectos en gran escala de una sola vez.

Esta clasificación es particularmente útil para determinar la naturaleza de la planeación y la calendarización integrales del sistema productivo.

## 1.2. Conceptos generales.

### *Organización del Proceso.*

La organización industrial incluye el organigrama y la organización del proceso. Entre ambos existen estrechas relaciones de reciprocidad: Por una parte, la organización del proceso depende del organigrama, pero por otra parte la organización del proceso influye también, en elevada medida sobre el organigrama. En la práctica, las empresas industriales precisan de tener en cuenta a ambas con la misma intensidad. Para el experto en estudio del trabajo, lo mismo que para el encargado de la preparación del trabajo y para el Ingeniero Industrial, se halla en primer término de interés los problemas de la organización del proceso, Figura 1.1. En consecuencia, en las metodologías del estudio del trabajo y de la planificación y conducción operativa, la organización Industrial se orienta fundamentalmente hacia el proceso.

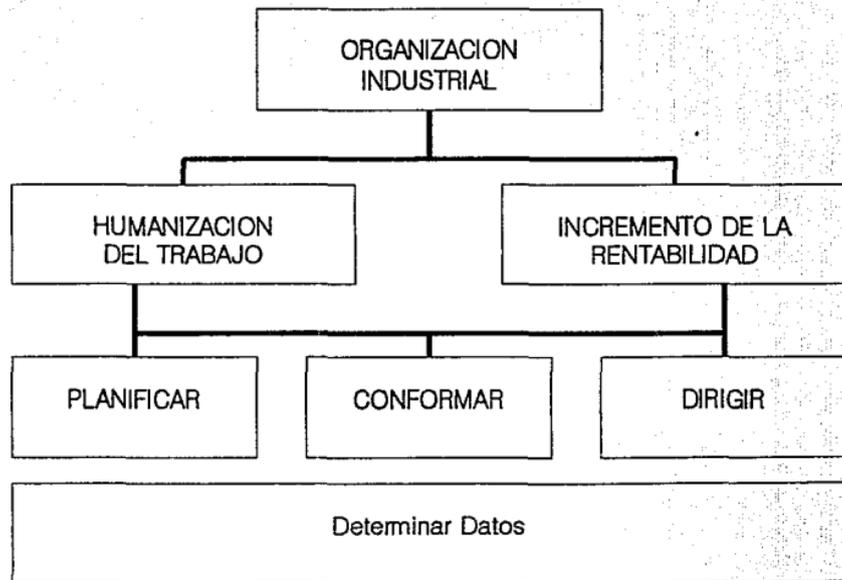


Figura 1.1 Metas y tareas de la Organización Industrial.

La organización Industrial abarca la planificación, conformación y conducción operativa de sistemas laborales, incluyendo la determinación de datos necesarios para ello, con el fin de establecer un funcionamiento empresarial económico y humano a la vez.

La planificación consiste en la búsqueda y fijación sistemática de metas, así como la preparación de tareas, cuya ejecución es necesaria para alcanzar dichas metas. El plan es el resultado de la planificación, y contiene datos previstos, cuya observación puede ser controlada. Conformar es el dar forma y orden en sistemas de trabajo y a sus relaciones recíprocas. La dirección o conducción operativa consiste en disponer, vigilar y asegurar la ejecución de las tareas por lo que respecta a la cantidad, el plazo, la calidad, los costos y las condiciones de trabajo.

La Figura 1.2 deduce que el estudio del trabajo, y de éste, en lo esencial, la determinación de datos y la conformación de sistemas de trabajo, hallan aplicarse en todos los terrenos y niveles de una empresa. La aplicación del estudio del trabajo no se limita en modo alguno a la fabricación, su importancia para la racionalización administrativa crece en la actualidad día con día.

La organización del proceso abarca la fabricación de piezas, el montaje y la expedición, donde:

- 1.- Se determinan los datos y se configuran los sistemas de trabajo (estudio del trabajo)
- 2.- Se planifican las capacidades, materiales, informaciones y procesos (planificación de la fabricación),
- 3.- Se inicia el seguimiento y aseguramiento del cumplimiento del programa y de la orden (mando operativo de la fabricación).

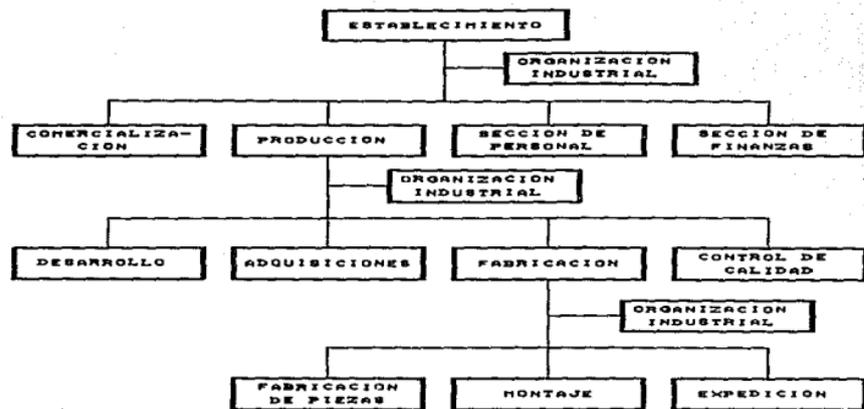


Figura 1.2 Organización empresarial, de la producción y de la fabricación.

Siendo sus objetivos la economía o rentabilidad bajo condiciones de trabajo humano.

La organización de la producción abarca, para los sectores de desarrollo, adquisiciones, fabricación y control de calidad, la planificación de objetivos y tareas, la macroconformación de los sistemas laborales, la conducción operativa de la ejecución de las tareas y la determinación de datos para ello necesaria.

#### *Procesos de fabricación.*

Desde la introducción de las máquinas herramientas, ha existido una tendencia gradual pero constante hacia la fabricación de máquinas más eficientes, combinando operaciones y transfiriendo mayor habilidad del operario a la máquina, reduciéndose así el trabajo manual. Para satisfacer estas necesidades, las máquinas herramientas se han hecho cada vez más sofisticadas, tanto en diseño como en control. Los dispositivos automáticos que se incorporan a las máquinas, son cada vez más numerosos y algunas son completamente automáticas. Este desarrollo técnico ha hecho posible la obtención de un ritmo elevado de producción en la industria, con el consiguiente bajo costo de la mano de obra, lo cual es esencial en el desenvolvimiento de cualquier sociedad que desee disfrutar de un alto nivel de vida. La Figura 1.3 muestra los diferentes factores que hay que considerar dentro del desarrollo de un producto.

Paralelamente con el desarrollo de las máquinas de producción, se ha puesto énfasis sobre la calidad de la manufactura. La calidad y la precisión en las operaciones de fabricación demandan un estricto control dimensional, con objeto de obtener partes que sean intercambiables y que den un mejor servicio de funcionamiento. Para la producción en serie, cualquiera de las partes deberá ajustar en un

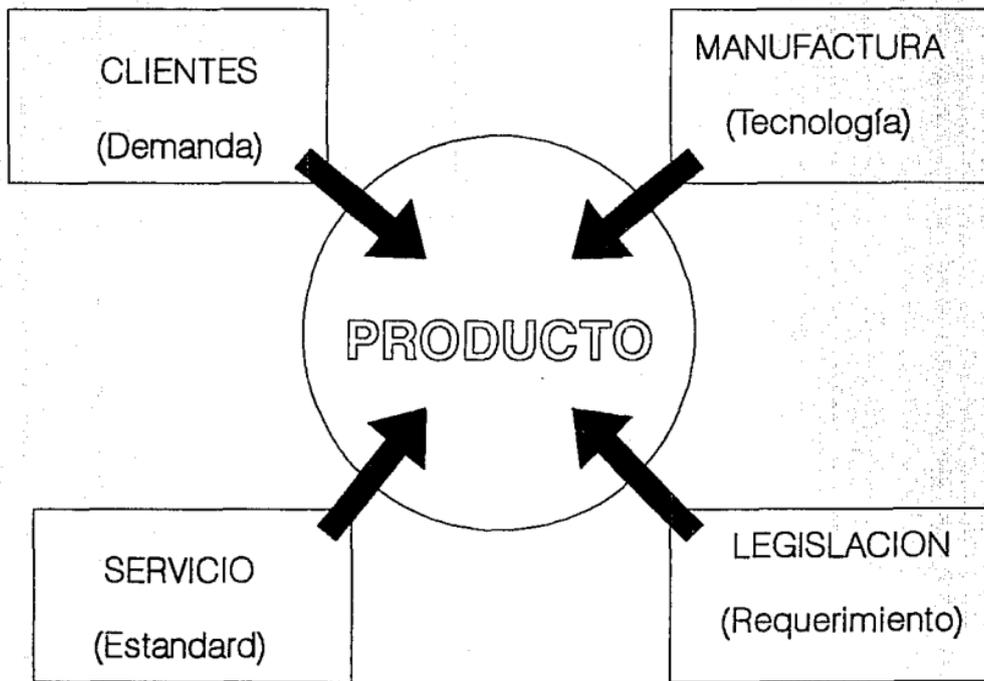


Figura 1.3 Desarrollo de un Producto,

Factores de influencia externa.

conjunto determinado. Un producto hecho de partes intercambiables se arma rápidamente, es de costo bajo y se le puede dar servicio fácilmente. Para mantener este control dimensional, deberá contarse con una inspección adecuada y seguir con los siguientes criterios para determinar una producción económica:

- 1.- Diseño funcional de la parte o del conjunto, con la mayor simplicidad compatible con la calidad estética apropiada.
- 2.- Selección de un material, compatible con las propiedades físicas, aspecto, costo y facilidad de procesar.
- 3.- Selección del proceso correcto para producir la parte individual, de tal forma, que no se obtenga más precisa de lo necesario y al menor costo posible.

*Formas de elaborar el material.* Los hombres, empleando las máquinas y las herramientas manufacturan los materiales, efectuando cualquiera de las siguientes transformaciones:

- 1.- Cambiar la forma del material sin variar la composición química. Proceso al que se llama "FORMAR" o "FABRICAR". Ejemplo : Moldear piezas de fierro colado; encuadernar libros, etc.
- 2.- Cambiar cualquiera de las características químicas del material. Proceso al que se llama "TRATAR" o simplemente "PROCESAR". Ejemplo: Fabricación de hule; fabricación de productos químicos y farmacéuticos, etc.
- 3.- Añadir físicamente y sin variar las características químicas, nuevos materiales a una primera parte. Proceso al que se llama "MONTAR" o "ENSAMBLAR". Ejemplo: Armado de automóviles; armado de zapatos, etc.

Además de este tipo de transformaciones, los materiales pueden contar con determinadas características de "ACABADOS", esto es, dar una

mejor apariencia estética al material de acuerdo con las exigencias del cliente, así como para darle mayor protección y durabilidad al producto ante los embates de la corrosión u otro tipo de especificación técnica que requiera la parte en cuestión.

### 1.3. Introducción al Sistema Laboral y el estudio de Trabajo.

Se define el concepto "sistema" como un conjunto de elementos cuyas relaciones recíprocas sirven a un fin determinado. De acuerdo a esta definición puede designarse como sistema tanto el puesto de trabajo individual como también una fábrica, una empresa e incluso la totalidad de la economía de una nación. Esta definición rige para el puesto de trabajo en la industria así como en la administración y en el sector de servicios.

La Tabla 1.1 distingue tres tipos de sistemas. En el estudio de trabajo se tratan casi exclusivamente los sistemas sociotécnicos. Los sistemas laborales pueden ser descritos definiendo sus elementos, tales como la persona o ser humano y los medios de elaboración. También la entrada y las influencias recíprocas del medio ambiente se convierten en elementos del sistema cuando traspasan la superficie de trabajo.

La tarea laboral caracteriza la finalidad del sistema laboral. El proceso del trabajo da el curso estereométrico y cronológico que experimenta la acción conjunta del hombre y los medios de elaboración con las entradas del sistema laboral, para transformar o emplear éste de conformidad con la finalidad del sistema. La entrada de un sistema consiste, en general, en objetos a elaborar, pero también en personas, informaciones y energía, cuyo estado, forma o situación ha

| Tipo del Sistema   | Elementos fundamen-<br>tales, que guardan<br>relaciones recípro-<br>cas | Ejemplos   |  |
|--|---|--|--|
|  |   | Designación<br>del sistema   | Finalidad<br>del sistema                                     |
| Sistemas técnicos<br>(Sistemas de<br>máquinas)               | Medios de elaboración<br>y herramientas                                 | Automata, tren de<br>transferencias  | Elaborar una<br>culata                                       |
| Sistemas sociales<br>(Sistemas de<br>personas)               | Seres humanos   | Asamblea de<br>Fabrica   | Informar<br>coordinar  |
| Sistemas Socio/<br>Técnicos<br>(Sistemas hombre-<br>máquina) | Hombres y medios de<br>elaboración                                      | Puesto de traba-<br>jo en la máquina<br>cabina de mando<br>de la grúa, cin-<br>ta continua, cen-<br>tros de produ-<br>ción y de admi-<br>nistración de un<br>establecimiento | Turnear una pie-<br>za, asentar en<br>libro una fac-<br>tura |

Tabla 1.1 Tipos de sistemas dentro del campo Industrial.

de modificarse o emplearse en el sentido del fin. La salida del sistema consiste generalmente en objetos a elaborar, pero también en personas e informaciones que fueron transformadas o empleadas en el sentido del fin. Los hombres y el medio de elaboración son las capacidades del sistema, que transforman la entrada en salida de acuerdo al fin que se busca. Las influencias recíprocas del medio ambiente se subdividen en influencias físicas y organizativas, así como también en influencias sociales, que actúan sobre el sistema laboral o que, en determinadas circunstancias, también son producidas por este.

Los sistemas laborales pueden poseer magnitudes muy diversas. El sistema laboral más pequeño es el puesto de trabajo individual, que constituye un microsistema laboral. Macrosistemas laborales son las secciones o la totalidad de la empresa.

#### *Estudio del Trabajo.*

El estudio del trabajo consiste en la investigación y conformación de sistemas de trabajo. Este tiene como objetivos la mejora de la rentabilidad de la empresa, asegurar procesos y condiciones de trabajo adecuados a la persona humana. Fundamentándose en la ergonomía, ciencia de la administración de empresas, estadística, ciencias sociales y jurídicas, y tecnología; recabando la información necesaria para obtener los puntos esenciales con los cuales determina y desarrolla métodos para calcular costos, diseñar la conformación del trabajo, determinar los requerimientos, calcular la remuneración por rendimiento supeditada al requerimiento o al rendimiento, así como de adiestrar al personal.

La creciente difusión de la elaboración electrónica de datos en la planificación y conducción operativa de la producción tiene como

consecuencia que la captación y evaluación de tiempos adquiera una importancia cada vez mayor. El estudio de tiempos recibe con ello nuevos terrenos de aplicación y nuevos contenidos. Estas modernas técnicas de dirección empresarial irradian una fuerte coacción en el sentido de incluir la organización del proceso de trabajo en la investigación y de fijarla o determinarla de antemano de la manera más amplia posible. Con la creciente importancia de la elaboración electrónica de datos se concede asimismo una importancia cada vez mayor a la organización del proceso.

#### *Ingeniería Industrial.*

La Ingeniería Industrial, además de ocuparse del estudio del trabajo y otros métodos de dirección de empresas, consistente en la aplicación de métodos y experiencias para la investigación y conformación de nexos de fabricación complejos, con la finalidad de mejorar la rentabilidad de la empresa, relacionándose con el diseño, desarrollo e instalación de sistemas integrados por hombres, materiales y equipos. Se basa en el conocimiento especializado de las ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios del análisis y diseño ingenieril para especificar, predecir y evaluar los resultados que se desean obtener con la aplicación de tales sistemas.

La Figura 1.4 muestra que la Ingeniería Industrial representa una ampliación del estudio del trabajo con mantenimiento de los objetivos de éste. La Ingeniería Industrial se ocupa de tareas de racionalización de mayor amplitud, que generalmente afectan a varias secciones de una empresa y que por ello suelen ser descuidadas con mucha frecuencia. Ejemplos de tales tareas son entre otros:

Racionalización del flujo de materiales y del transporte;

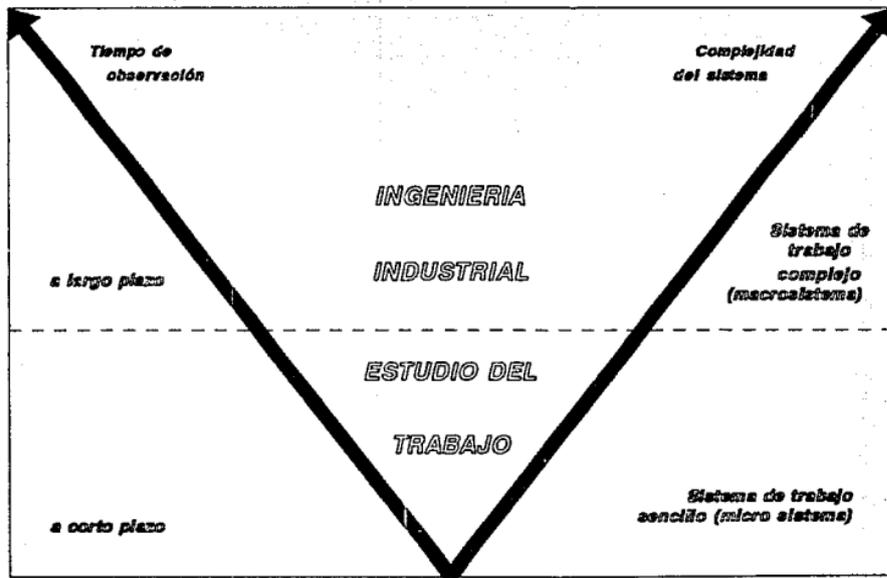


Figura 1.4 Relación entre el Estudio del Trabajo

y la Ingeniería Industrial.

Cálculo de rentabilidad y aseguramiento de la rentabilidad de inversiones;

Empleo del procesamiento electrónico de datos como en el caso de la información sobre el 'management', en la conducción operativa de la producción y en el estudio del trabajo

Planificación de talleres (Layout);

Conformación de las bases de remuneración;

Análisis de valores;

Control de Calidad;

Organización y control de costos del mantenimiento y la reparación;

Elaboración de tiempos evaluados y valores de relación para la planificación y control de costos;

Normalización y tipificación de productos, procedimientos y medios de elaboración;

Fomento de las relaciones entre los colaboradores (derecho de hacer propuestas, cooperación con los maestros, los capataces y los trabajadores, etc.)

Característica común de estos campos de tareas es el que todos ellos tienen un contenido técnico-económico y también que su solución presupone unos conocimientos de la correspondiente amplitud y profundidad. Por ello, el Ingeniero Industrial es comparado frecuentemente con el Economista, que ha de entender tanto de técnica como de la economía de la empresa.

Resumiendo, el Ingeniero Industrial se enfrenta con tres campos de tareas, siempre que ejerza su actividad en un Departamento de Asesoramiento de la empresa

- 1) Poner a prueba e introducir nuevos métodos de racionalización
- 2) Ejercer de coordinador entre diversas secciones, y
- 3) Elaborar proyectos especiales que por el momento no pueden ser asignados a ninguna de las secciones existentes.

La Industria extractiva, manufacturera, de servicios y de la construcción, considerada en su conjunto, es donde la aplicación del estudio del trabajo y de la Ingeniería Industrial se llevan a cabo con gran fuerza y mayor desarrollo.

El punto central de la aplicación del estudio del trabajo y también de la Ingeniería Industrial, radicaba hasta ahora en la técnica de la fabricación en el campo de la producción metalúrgica, donde el trabajo humano posee una influencia esencial sobre el resultado Industrial. La creciente mecanización y automatización hacen disminuir este hecho de manera sustancial en la técnica energética y en la de operaciones y procesos; aquí radica el punto central de la aplicación del estudio del trabajo a la preparación y mantenimiento de las instalaciones técnicas; este campo de aplicación se torna cada vez más importante.

Ya desde hace tiempo se aplican los métodos del estudio del trabajo en la agricultura y la silvicultura, en la minería, en los talleres de fundición y en las fraguas, así como también, de manera creciente en el terreno de la construcción. Otras aplicaciones importantes se hallan en la industria de la confección y textil, en la industria metalúrgica, en la industria editorial y de prensa, en la elaboración de la madera y las materias sintéticas, en la industria del vidrio, en la construcción naval, en la industria de la zapatería, en la industria de la celulosa y el papel, así como también en la artesanía.

#### 1.4. La ciencia en la Dirección de Operaciones.

El desarrollo de la ciencia en la dirección desde el final de la Segunda Guerra Mundial, es uno de los progresos más estimulantes que hayan llegado a la escena comercial e Industrial. Esto ha producido que algunas medidas adoptadas por la dirección hayan caído en desuso por ser anticuadas en muchas funciones de los negocios y, en parte mínima, ha creado una sensación de inquietud en los hombres que ven el poder del desarrollo de las técnicas analíticas aplicadas a los problemas de la dirección. Esto ha apresurado la evolución del profesionalismo en el campo de la dirección.

Taylor, quién dedicó su tiempo a la reducción de la artesanía del trabajador y a adquirir el conocimiento de un conjunto de reglas de trabajo derivadas empíricamente, las cuales mejoraron la productividad en habilidades y oficios tales como el maquinado de metales, el manejo del hierro en lingotes, el uso de palas y otros. Al desarrollar estos procedimientos mejorados de trabajo, herramientas y sistemas, Taylor recurrió a la experimentación cuidadosa como base para el desarrollo de sus sistemas ya mejorados. Más importante que el mejoramiento de sistemas específicos de trabajo dirigido, fue la filosofía general de la "dirección científica". Taylor no imaginó o predijo el curso de eventos por los cuales la ciencia aplicada y la metodología se desarrollarían, o el carácter de la ciencia en la dirección en su estado actual de desarrollo. Siguiendo el gran ímpetu dado por la investigación de operaciones bélicas durante la Segunda Guerra Mundial, hubo un rápido aumento de

la aplicación de los modelos matemáticos y estadísticos en los problemas comerciales e Industriales. Aunque la mayor proporción de estas aplicaciones ocurrió en la producción o funciones de operación de negocios, de investigación de mercados y en los aspectos financieros, las funciones generales de dirección también se han beneficiado. Durante la misma guerra y el período subsecuente, la tecnología produjo los conceptos del control automático y el procesamiento de datos, los cuales no fueron ni soñados por los precursores de la dirección científica. El paso de la automatización de las operaciones y de la computación se apresuró y muchas personas se refirieron a los efectos sobre nuestra economía y sociedad comparándolos a una segunda revolución Industrial. Uno de los desarrollos notables de esta tendencia hacia la dirección científica ha sido la simulación en computadora. Problemas de increíble complejidad, los cuales no podían resolverse mediante métodos matemáticos podían ser abordados por medio de la simulación. La simulación suministró un laboratorio para la dirección en la que se probaron los efectos finales de las políticas sin interrumpir en realidad las operaciones. También, la computadora suministró la base para los controles rápidos de la dirección integrada. Los resultados finales de esta última tendencia tecnológica, pueden muy bien convertirse en los más importantes desde un punto de vista tanto social como económico.

Mientras tanto, otras ramas de la ciencia de la dirección, las cuales se enfocan hacia el ser humano como un individuo y como un miembro de grupos de trabajo, también han progresado rápidamente. Estas disciplinas tienen sus raíces en la psicología experimental y la fisiología, la sociología y las ciencias de la conducta en general.

Una rama principal de esta actividad está vinculada con la organización del trabajo (planeación de los trabajos), la medición del trabajo y la Ingeniería humana. Otras ramas principales sobre las comunicaciones y la organización, la motivación de la dirección y muchas otras cuestiones de gran significado para pequeñas y grandes organizaciones.

#### *La Dirección y la Ciencia de la Dirección.*

La dirección ha sido siempre practicada principalmente como un arte. Como tal, la dirección enseña basándose en la experiencia. Indudablemente, el arte ha progresado mucho, no obstante, por lo general estas experiencias representan casos especiales y muy poco de lo aprendido se transmite. Si el arte de la dirección ha alcanzado realmente un objetivo, un mayor desarrollo puede medirse por la velocidad con la cual la experiencia de la dirección pueda generalizarse en un sistema de referencia común, que sea aplicable a diferentes empresas de distintas industrias dirigidas por diversos hombres. Esto podría establecerse como un objetivo general de la ciencia de la dirección, es decir, desarrollar un conjunto de conocimientos que sea transferible.

Sin duda, el área general de utilidad que debemos permitir al arte de la dirección excede en gran parte al área de la ciencia de la dirección hoy en día. Quizás una observación más desafortunada es que la práctica del arte y la ciencia de la dirección tienen una área muy pequeña en la cual existe una sobreposición, es decir, una proporción demasiado pequeña del conocimiento de la nascente ciencia de la dirección ha comenzado a tener uso activo. Sería fácil eludir este infeliz resultado culpando a la inercia del pensamiento de los directores en función. Aunque indudablemente la inercia explica parte

de la disparidad, razones igualmente importantes pueden ser los científicos de la dirección han preferido hablar entre sí sobre los problemas que ellos han inventado, más bien que sobre los problemas reales que el director encara. Muy a menudo el científico de la dirección cree que su tarea termina cuando un trabajo (que con frecuencia presenta elegancia matemática) ha sido publicado en una revista orientada académicamente (la cual el director en funciones no lee y no puede leer porque está escrito en un lenguaje que le es extraño). Por lo común, las mismas ideas y resultados pueden traducirse a un lenguaje comprensible con la ayuda de cartas y gráficas, pero existe un aparente titubeo para hacer esto, porque tal trabajo puede ser mal juzgado por los colegas académicos como un trabajo de "poco valor". Encontramos una ruptura de las comunicaciones.

La crítica de que los científicos de la dirección muy a menudo trabajan en problemas que ellos mismos producen, más bien que sobre problemas reales, tiene un significado menos importante que la deficiencia de las comunicaciones. Todos debemos de estar de acuerdo en que la ciencia de la dirección es incipiente. Los modelos precursores en cualquier ciencia son, por lo común, grandemente idealizados. Tales modelos pueden suponer relaciones lineales donde no existe dicha linealidad. Pueden ignorar factores que integran el problema, pero que no son factores importantes. Pueden ignorar algunas interacciones entre los mismos. Sin embargo, modelos que ignoran algunos factores desconocidos a menudo tienen suficiente valor predictivo y su relativa sencillez facilita las soluciones. Por otro lado, los modelos más realistas y complejos pueden no ser resueltos. En parte mínima, estos primeros modelos tienen valor como

pasos fundamentales para modelos más realistas que finalmente puedan tener suficiente exactitud de predicción para ser de valor como modelos prácticos.

Un buen ejemplo del hecho de que los modelos precursores pueden ser en sí inadecuados y conducen finalmente a modelos más realistas, se encuentra en el desarrollo original de la regla de decisión lineal (RDL). La RDL, fue una proposición relativamente anticipada (1955) para la extensa planeación y programación de tasas de producción y niveles de contratación en términos agregados. El modelo hizo posible, para la dirección superior, retener el poder de decisión sobre las variables fundamentales que guían los niveles y usar los recursos de la empresa en términos amplios. Estas decisiones de cada período en términos agregados, dieron lugar a restricciones bajo las cuales la planta desarrolló programas detallados para contratación y despido, sobre cuánto producir de cada artículo, llevar a cabo o no inventarios y así sucesivamente. La RDL fue un acierto genial en el sentido de que conceptualizó en un conjunto final y útil, algunas de las variables claves extensas que afectaban la dirección, suministrando instrucciones específicas sobre la tasa agregada de producción, contratación y niveles de inventario que fueran óptimos para el modelo. La dificultad estaba, sin embargo, en que para alcanzar este punto óptimo del modelo matemático se requería una conversación de la estructura de costos de la compañía a una serie de funciones cuadráticas del costo. La RDL no se usó mucho porque las funciones cuadráticas del costo no acomodaban satisfactoriamente las pocas componentes del costo representadas y la complejidad matemática nos restringió a intentar incluir componentes adicionales del costo. Pero el objetivo fundamental de la RDL fue reconocido y se desarrolló

un número de diferentes enfoques mediante computadora libres de restricciones respecto a la naturaleza matemática de las funciones del costo y de la complejidad general de la estructura, teniendo un gran progreso en la construcción del modelo original.

*La Dirección y la toma de decisiones.*

La principal función de la dirección es tomar decisiones que determinan el futuro curso de acción de la empresa para plazos cortos y largos. Estas decisiones están relacionadas con todo problema concebible tanto físico como de organización. Puede tratar con los mercados y los canales de mercadeo, la planeación financiera, las políticas de incentivos al personal, los planes alternos para ampliar las facilidades de producción, las políticas para mejoras materiales, el control del trabajo y así sucesivamente. Más a menudo las decisiones implican tener que interferir líneas funcionales.

La teoría de la decisión está dirigida a determinar cómo deben adoptarse decisiones racionales. Procura establecer un sistema de referencia lógico para las decisiones, que establezca una correlación entre la ciencia y el mundo de los modelos, con el mundo real para diversas líneas alternativas de acción. Estas decisiones tratan con todo lo que ocurre en la organización. Para una operación de día a día o para decisiones repetitivas, un conjunto de reglas de decisión hace posible la continuidad y la operación ininterrumpida, por ejemplo, las reglas de decisión que determinan la cantidad de materiales que se requerían simultáneamente; las decisiones a gran escala, tales como la determinación de un plan general para la expansión, o la decisión para emitir nuevas acciones, emplearán los mismos conceptos generales de la teoría de la decisión, pero ocurren ocasionadamente.

Conforme surgen nuevos problemas de dirección, estos son encarados por la dirección con los únicos medios de solución disponibles, la experiencia en la dirección, el juicio y la intuición. Las decisiones se toman sobre esta base porque así tienen que hacerse; sin embargo, las decisiones pueden formalizarse dando lugar a políticas y procedimientos que guíen decisiones futuras. Estas decisiones pueden clasificarse como semiautomáticas, y normalmente corresponden a la dirección media. En algunos casos, un problema puede prestarse al refinamiento del modelo de decisión formal, suministrando así reglas de decisión automáticas. Este flujo se presenta en el diagrama de la Figura 1.5, y las áreas relativas parecen representar la importancia de cada una de tales áreas en las decisiones directivas actuales. No debemos suponer que la ciencia de la dirección está trabajando solamente al nivel de la regla automática. Ciertamente, es verdad que los objetivos de los científicos de la dirección son mover tantas áreas de problemas como sea posible hacia el nivel automático más factible; sin embargo, la ciencia de la dirección está trabajando en todos los niveles. Donde modelos altamente realistas pueden desarrollarse, las decisiones pueden reducirse a reglas de decisión automática, extendiendo así el alcance de ese pequeño triángulo. Además la ciencia de la dirección puede ayudar a formalizar las políticas y las cuestiones que previamente se habían decidido solamente sobre la base de la experiencia, el juicio y la intuición. En donde los problemas del mundo real son sumamente complejos para ser resueltos en forma efectiva por los modelos presentes, la ciencia de la dirección puede ser capaz de formalizar parte del problema, de manera que las decisiones intuitivas puedan adaptarse en forma más efectiva. Finalmente, la ciencia de la dirección puede ser capaz de

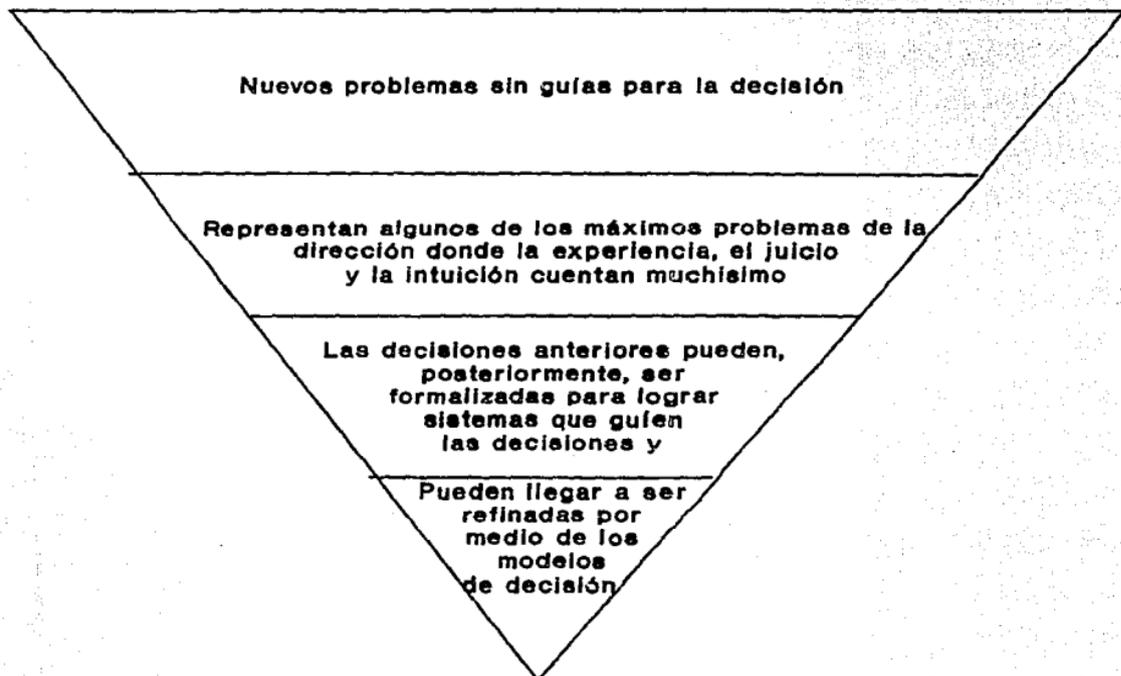


Figura 1.5 Refinamiento de nuevos problemas hacia políticas y reglas de decisión automática. Las áreas relativas pueden representar la posición aproximada de juicio, política y la decisión automática en la actualidad

ayudar a definir con mayor efectividad algunos de los nuevos problemas. Deseamos extender progresivamente la magnitud relativa y el alcance de cada una de las áreas que representan la aplicación de la ciencia de la dirección a expensas de cualquiera de las áreas que presenten una mayor aplicación de la metodología científica.

En la toma de decisiones, la dirección escoge entre un conjunto de alternativas lo que considera el mejor curso de acción. Para juzgar cuál de las alternativas es mejor, sin embargo, debemos tener criterios y valores que midan el valor relativo de las alternativas y un sistema para predecir el funcionamiento de los cursos de acción alternativos. Estos elementos, en conjunto, constituyen la base para un criterio de decisión que haga un balance de las características e inconvenientes de las alternativas. Las dificultades surgen al establecer la comparación entre los diversos criterios que puedan entrar en conflicto y en la determinación del funcionamiento futuro de las alternativas. Mucho de esto está vinculado con sistemas de predicción, que son modelos de los mecanismos operantes con los cuales se está trabajando. En la Figura 1.6, hemos indicado que deseamos seleccionar las alternativas que maximizan lo que es conveniente. Puesto que estamos tratando con valores futuros. ¿Cuál es el significado de este término? ¿Cuál es la probabilidad de alcanzar los resultados predichos o, inversamente, cuál es el riesgo de no alcanzar estos resultados? En realidad, el valor final neto de lo que es conveniente se estima de acuerdo con la probabilidad de lograrlo, de manera que para propósitos de decisión estamos tratando con valores de expectación.

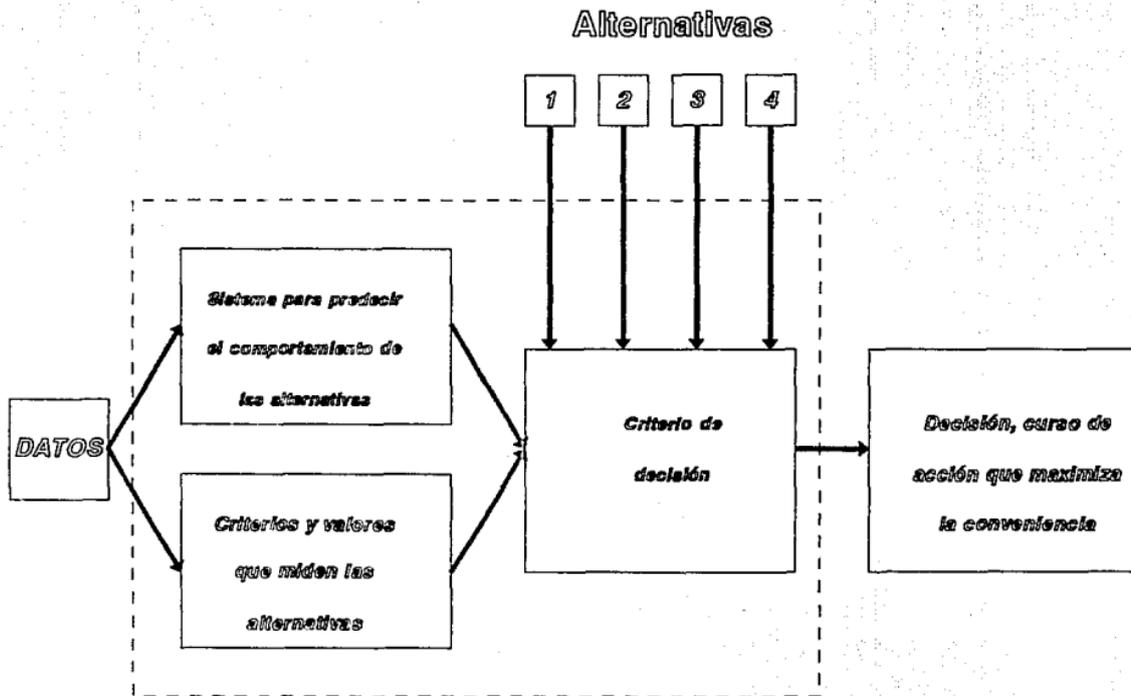


Figura 1.6 Estructura de la Toma de Decisión.

## 2. SIMULACION POR COMPUTADORA

## 2.1. Modelos

De la estructura de la toma de decisiones, ver Figura 1.6, los modelos son la base de los sistemas de predicción y son vitales para el proceso formal de la toma de decisiones. Estos modelos sugieren métodos científicos, donde intentan duplicar, de alguna manera, el comportamiento del sistema o subsistema con el cual se está trabajando. Una vez que se ha alcanzado este paralelismo entre la situación real y su modelo, será fácil manipular el modelo para estudiar las características en las cuales el investigador está interesado, en lugar de trabajar con el sistema en forma real.

Los modelos son invariadamente abstracciones, hasta cierto grado, de los sistemas reales a los cuales se desea predecir su comportamiento. Haciendo abstracciones del sistema real, se puede enfocar la atención sobre un sistema más simple sin una gran pérdida, debido a que se han ignorado los detalles.

Un modelo es útil, en un sentido práctico, cuando duplica con exactitud el comportamiento del sistema real. Si un modelo no cumple esto, es útil solamente hasta el punto donde suministre información y conocimiento para el desarrollo de uno nuevo. Los modelos se valoran, algunas veces, repetidamente. Por ejemplo, los primeros planetarios no predijeron perfectamente el movimiento de los planetas y las estrellas, pero correlacionando las predicciones del modelo con los datos reales observados, pudieron introducir correcciones en el modelo con los cuales mejoraron las predicciones. También, conforme la ciencia y la tecnología avanzan, se desarrollan nuevas situaciones que requieren la revisión y actualización de los modelos, tales como el descubrimiento de nuevas estrellas en el caso de los modelos del túnel de viento, etc. La Figura 2.1 muestra la estructura de los

pasos sucesivos en el desarrollo de un modelo aceptable con valoraciones intermedias de los modelos con los datos del mundo real.

#### *Tipos de modelos.*

Los modelos pueden ser clasificados como icónicos (del griego "iconos" que significa imagen), análogos y simbólicos. Los modelos icónicos retienen algunas de las relaciones físicas de las cosas que representan, es decir, se parecen a la cosa real, pero por lo común están hechos a una mayor o menor escala. Buenos ejemplos son los modelos aerodinámicos, los planetarios, los planos del ingeniero, los globos terráqueos, las fotografías y, naturalmente, los modelos tridimensionales de los medios físicos empleados a menudo en la arquitectura y el proyecto de una fábrica. Los modelos icónicos mantienen las relaciones físicas, aunque no necesariamente todas. Al igual que con otros tipos de modelos, sólo se mantienen las características que son de interés para el estudio, lo cual da como resultado economía y una relativa sencillez. Los modelos icónicos son útiles para estudiar las condiciones que prevalecen en un tiempo dado, en forma muy semejante a la de una fotografía en la cual se detiene la acción. No son particularmente útiles para el estudio de situaciones dinámicas, ni tampoco para descubrir relaciones entre variables de un sistema.

Los modelos análogos establecen una relación entre una variable del sistema y una variable análoga en el modelo. Así, una gráfica de ventas por meses utiliza la longitud de las rectas como un análogo de la magnitud de las ventas y el tiempo. El diagrama esquemático de un electricista emplea rectas para indicar conexiones eléctricas. Varios tipos de gráficas de flujo emplean rectas como un análogo del flujo de material o información. Uno de los análogos más útiles usados en

*MUNDO DE LOS MODELOS*

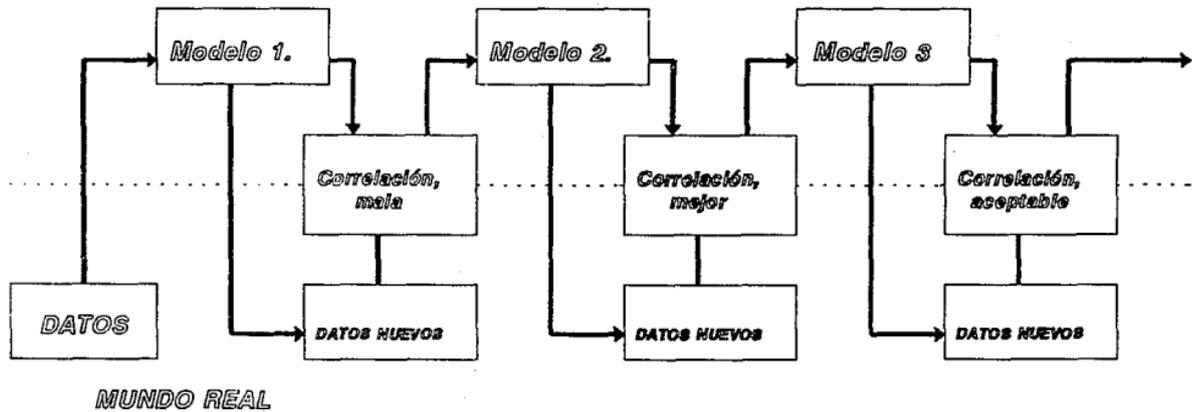


Figura 2.1 Pasos hacia el desarrollo de un modelo aceptable.

el trabajo técnico ha sido el análogo eléctrico. Las computadoras analógicas establecen una relación entre las variables de un problema real y las de un sistema eléctrico. Los modelos análogos son a menudo útiles para el estudio de situaciones dinámicas. Por lo común, los cambios en un modelo análogo pueden hacerse más fácilmente que en un modelo icónico, de manera que pueden ajustarse a un mayor número de situaciones diferentes y tener, así, una mayor generalidad.

Los modelos simbólicos substituyen símbolos por componentes o variables del sistema real, y los símbolos generalmente están relacionados matemáticamente. El modelo simbólico es, entonces, un modelo de algún aspecto de la situación real. La ventaja de los modelos simbólicos es que pueden descubrirse interrelaciones entre las variables a través de la manipulación del modelo. El modelo simbólico es, a menudo, el más difícil y caro de construir; empero es por lo general más común en su aplicación y suministra la máxima información. Los modelos simbólicos se han empleado más comúnmente en la ciencia. En la actualidad, sin embargo, el mundo de los negocios se está dando cuenta del poder de los modelos simbólicos en muchos de los problemas de organización y dirección.

#### *Modelos útiles en la Dirección de Operaciones:*

Los modelos útiles en la dirección de operaciones son de diferentes tipos y generalmente parece que recorren la gama de todos los tipos. Los modelos físicos son algunas veces utilizados en el desarrollo de la disposición de elementos a fin de visualizar claramente los efectos de los diferentes arreglos sobre el flujo físico, el almacenamiento durante el proceso, la disposición del lugar para las máquinas y el trabajo y, así sucesivamente.

Los modelos gráficos de varios tipos han sido extremadamente útiles, particularmente al estudiar el flujo sobre una macrobase y en el estudio del microflujo en una operación al intentar optimizar los sistemas de máquinas. En años recientes los modelos de flujos de redes en la forma de gráficas PERT-CPM han sido la base para planear y controlar proyectos de gran escala, como los que ocurren en la investigación y el desarrollo, y en particular en la industria aeroespacial. Estos conceptos del flujo de redes también han sido de valor para establecer modelos secuenciales de balance de la línea de producción y para el problema de la programación del taller de una empresa.

Los modelos estadísticos fueron de los primeros que se emplearon en la dirección de operaciones, los cuales tenían un base matemática rigurosa. El campo general del control estadístico de la calidad (CEP) ha desarrollado modelos para controlar la calidad final de los procesos y a través de procedimientos de muestreo. Los modelos para determinar si se acepta o no un lote grande de artículos se basan sobre una muestra relativamente pequeña. El problema de la medición del trabajo humano es, en esencia, una forma confiable de muestreo estadístico.

Los modelos de inventario están basados matemáticamente y describen las consecuencias de costo para diferentes políticas al ordenar. Los modelos de producción-inventario incluyen el problema del inventario en las decisiones generales para establecer tasas de producción, contratar operarios o hacer reajuste en la fuerza de trabajo, en

acumular inventarios etc. Tales problemas han sido enfocados por medio de la programación lineal y métodos heurísticos.

Con el advenimiento de las computadoras, los modelos de simulación han mostrado gran versatilidad donde la solución de los modelos matemáticos eran demasiado complejos. Los procesos estadísticos entran en los modelos complejos de producción mediante la simulación que incorpora técnicas Monte Carlo, que han hecho posible representar los elementos estocásticos en un proceso, reteniendo el realismo en simulaciones de sistemas a gran escala de plantas de producción completas. Los modelos de simulación incorporan a menudo reglas heurísticas de decisión tales como las reglas lógicas que suministran decisiones claras y definidas, aunque puedan no ser óptimas. Los modelos de colas o de línea de espera son modelos matemáticos que se han desarrollado para describir los procesos fundamentales implicados en una situación donde algún tipo de centro de servicio procesa algo que pueda llegar a necesitar servicio por medio de algún programa al azar. Por ejemplo, las máquinas pueden descomponerse y necesitar reparación. Los modelos básicos de línea de espera han sido útiles en el examen del problema de mantenimiento y en el inventario. Junto con la metodología de simulación, los modelos de línea de espera han sido útiles en el análisis del problema del balance de la línea de producción y en la secuencia de ordenes en un taller.

#### *Ventajas y desventajas.*

Los modelos suministran los medios más efectivos hasta ahora desarrollados para predecir el funcionamiento. En realidad, es difícil concebir un sistema de producción que no sea en última

instancia un modelo. Para construir el modelo de un proceso o sistema reales, se requiere una cuidadosa consideración sobre exactamente cuales elementos del sistema necesitan abstraerse, Los peligros al usar modelos de predicción se encuentran en la posibilidad de sobresimplificar los problemas a fin de mantener los modelos en una condición manejable. La persona que toma decisiones puede poner demasiada esperanza en un análisis aparentemente riguroso y completo. Aún cuando el análisis cuantitativo no pretende explicar algunos factores, y no incluye valores humanos e intangibles, a menudo es cierto que un ejecutivo es obligado a tomar la decisión indicada por un modelo limitado sin una ponderación cuidadosa del problema total, incluyendo los factores no reducidos en el modelo. Teóricamente, el proceso formal de la toma de decisiones tiene como objetivo la reducción de tantas decisiones como sea posible, donde el modelo debe ser tan completo que su funcionamiento como predictor sea enteramente satisfactorio.

#### *Construcción del modelo.*

Los modelos son descripciones de sistemas. Se ha demostrado la utilidad de los modelos en la descripción, diseño, y análisis de sistemas. El modelado de un sistema se facilita si:

Se dispone de leyes físicas pertinentes al sistema;

Se puede hacer una representación gráfica o pictórica del sistema;

Se puede manejar la variabilidad de los insumos, elementos y salidas del sistema.

Con frecuencia, el modelado de sistemas complejos y de gran escala es más difícil que el modelado de sistemas físicos, por las siguientes razones;

Se dispone de pocas leyes fundamentales;

Están implícitos muchos elementos de procedimiento que son difíciles de describir y representar;

Se requieren políticas de entrada difíciles de cuantificar;

Los componentes aleatorios son elementos significativos; y,

La toma de decisiones humana es una parte integral de estos sistemas.

Un enfoque de simulación evita muchas de estas dificultades.

Puesto que un modelo es la descripción de un sistema, también es una abstracción de éste. Los constructores de los modelos deben decidir sobre los elementos que incluirán en sus modelos. Para tomar tales decisiones se debe establecer un propósito o finalidad para la construcción del modelo. Al decidir si un elemento de un sistema es significativo, se debe hacer referencia a esta finalidad y luego se debe modelar. El buen éxito de un modelador depende de que tan bien pueda definir los elementos significativos y la relación entre ellos. Idealmente los modelos de simulación son adecuados para resolver problemas. La simulación proporciona la flexibilidad para construir modelos ya sea agregados o detallados. También apoya los conceptos de construcción de modelos iterativos, lo que permite la afinación de los modelos mediante adiciones sencillas y directas.

## 2.2. Definición de simulación.

La simulación por computadora es el proceso de diseñar un modelo lógico-matemático de un sistema real y experimentar con éste en una

computadora, abarcando un proceso de construcción, diseño y ejecución. Estos experimentos permiten hacer inferencias sobre los sistemas productivos SIN CONSTRUIRLOS, si éstos son sólo sistemas propuestos, SIN ALTERARLOS, si éstos son sistemas operativos costosos e inseguros para experimentar con ellos, SIN DESTRUIRLOS, si el objeto de un experimento es determinar sus límites de agotamiento.

Un concepto clave de simulación, es el de la "descripción del estado del sistema". Si un sistema se puede caracterizar por un conjunto de variables, con cada combinación de valores de variables representando un estado o condición única del sistema, entonces el manejo de los valores variables simula el movimiento del sistema de un estado a otro. De este modo, se tiene que la experimentación simulada implica la observación del comportamiento dinámico de un modelo a través del tiempo; dependiendo de la naturaleza de sus insumos, los procesos observados de salida serán determinísticos o estocásticos. Se pueden presentar continuamente cambios en el estado de un sistema, ya sea con el tiempo o en momentos específicos. Aunque los procedimientos para describir el comportamiento dinámico de modelos de cambio específicos y continuos son diferentes, el concepto básico de simulación de un sistema mediante la representación de cambios en el estado del sistema respecto al tiempo sigue siendo el mismo.

#### *Enfoques de la Simulación.*

Al desarrollar un modelo de simulación, un analista necesita seleccionar un marco conceptual para describir el sistema que se modelará. El marco o perspectiva contiene un "punto de vista global" dentro del cual se perciben y describen las relaciones funcionales del sistema.

*Simulación discreta.* La simulación discreta ocurre cuando las variables dependientes del sistema cambian discretamente en puntos especificados en tiempo simulado, denominados "tiempos de eventos". En este modelo, la variable de tiempo puede ser continua o discreta dependiendo de si los cambios discretos en la variable dependiente pueden ocurrir a cualquier tiempo o solamente en tiempos especificados. Para construir una simulación discreta de un sistema, se deben definir los estados del sistema e identificar los eventos que puedan cambiar el estado del sistema. Los objetos dentro de los límites de un sistema discreto, como personas, equipo, ordenes y materias primas, se denominan "entidades". Hay muchos tipos de entidades y cada uno tiene varias características o atributos. Aunque participan en diferentes tipos de actividades, las entidades pueden tener un atributo en común por el que se agrupan juntas. El agrupamiento por entidades se llama "arreglo". La inserción de una entidad en un arreglo implica que ésta tiene alguna relación con las otras entidades del arreglo. El propósito de un modelo de simulación discreta es reproducir las actividades en que participan las entidades y de allí conocer algo acerca del comportamiento y rendimiento potenciales del sistema. Para esto se definen los estados del sistema y se construyen actividades que se desplazan de un estado a otro. El estado de un sistema se define en función de los valores numéricos asignados a los atributos de las entidades. En la simulación discreta el estado del sistema puede cambiar solamente en los tiempos de los eventos. Como permanece constante entre tiempos de eventos, se puede obtener una presentación dinámica completa del estado del sistema mediante el avance del tiempo simulado de un evento al siguiente. Este mecanismo de tiempo se denomina "enfoque

del próximo evento" y se usa en la mayoría de los lenguajes de simulación discreta.

Un modelo de simulación discreta se puede plantear por la definición de los cambios en el estado de un evento al siguiente, y la descripción de las actividades que participan las entidades en el sistema, ó la descripción del proceso a través del cual fluyen las entidades del sistema. En la Figura 2.2 se muestra la relación entre los conceptos de un evento, una actividad y un proceso.

Un evento se lleva a cabo en un punto en el tiempo en que se toman decisiones para iniciar o terminar actividades. Un proceso es una secuencia de eventos ordenada respecto al tiempo y puede abarcar varias actividades. Estos conceptos se dirigen naturalmente a tres puntos de vista globales alternativos para modelado de simulación discreta. Estos puntos de vista globales se denominan comúnmente orientaciones al "evento", a la "búsqueda de actividad" y al "proceso".

Desde el punto de vista global, muchos de los modelos de simulación incluyen orientado al evento, un sistema se modela por definición de los cambios que ocurren en los tiempos de los eventos. La tarea de un modelador es determinar los eventos que pueden cambiar el estado del sistema y luego, desarrollar la lógica asociada con cada tipo de evento. Una simulación del sistema se produce mediante la ejecución de la lógica asociada con cada evento en una secuencia ordenada en función del tiempo.

Muchos de los modelos de simulación incluyen secuencias de los elementos que ocurren conforme a patrones definidos, por ejemplo una cola en la cual las entidades esperan procesamiento efectuado por un servidor. La lógica asociada con esta secuencia de eventos se puede

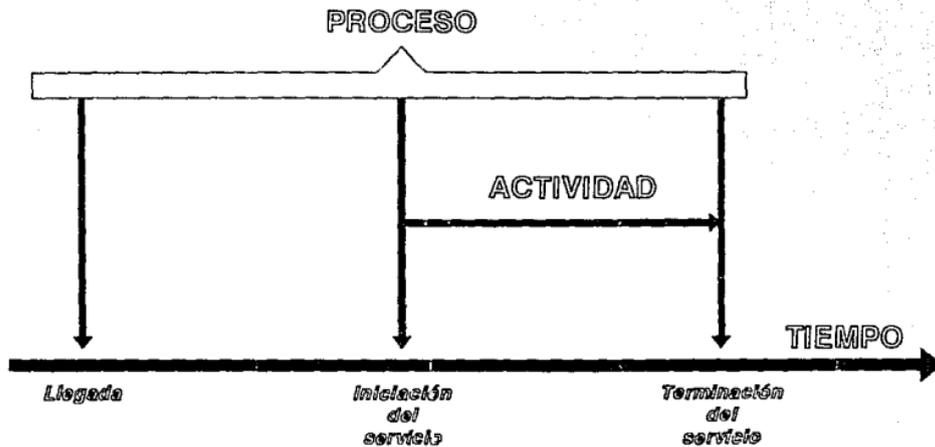


Figura 2.2 Relación entre sucesos y procesos.

generalizar y definir por un solo planteamiento. Luego, mediante un lenguaje de simulación se puede traducir el planteamiento a la secuencia apropiada de eventos. Un lenguaje orientado al proceso define una secuencia de eventos que es ejecutada automáticamente por el lenguaje de simulación a medida que las entidades atraviesan por el proceso.

La orientación del proceso proporciona una descripción del flujo de entidades a través de un proceso que consiste en recursos. Su simplicidad se deriva del hecho de que la lógica del evento asociada con el planteamiento está contenida en la descripción del modelo.

En la orientación hacia la exploración de actividad, el modelador describe las actividades en que las entidades participan en el sistema y establece las condiciones que hacen que una actividad empiece o termine. El modelador no programa los eventos que inician o terminan la actividad, sino que éstos se inician a partir de las condiciones especificadas para la actividad. A medida que avanza el tiempo simulado, se exploran las condiciones ya sea para iniciar o para terminar una actividad. Si se satisfacen las condiciones prescritas, entonces se toma la acción apropiada para la actividad. para asegurar que ha sido tomada en cuenta cada actividad, es necesario explorar todo el conjunto de actividades cada vez que éste avanza.

Para ciertos tipos de problemas, el enfoque de exploración de actividades puede proporcionar un marco conciso de modelado. El enfoque es particularmente idóneo para situaciones en las que la duración de una actividad es indefinida y esta determinada por el estado del sistema que satisface una condición prescrita. Sin embargo, debido a la necesidad de explorar cada actividad cada vez

que ésta avanza, el enfoque es relativamente ineficiente cuando se compara con la orientación al evento discreto. En consecuencia, la orientación a la exploración de la actividad no se ha adoptado ampliamente como marco de modelado para simulaciones discretas.

*Simulación continua.* En un modelo de simulación continua, el estado del sistema está representado por variables dependientes que cambian continuamente con el tiempo. Para distinguir variables de cambio continuo de variables de cambio discreto, las primeras se denominan "variables de estado". Un modelo de simulación continua se construye mediante la definición de ecuaciones para un conjunto de variables de estado cuyo comportamiento dinámico simula al sistema real. Con frecuencia se escriben modelos de sistemas continuos en función de ecuaciones diferenciales. La razón para ello es que a menudo es más fácil construir una relación para el ritmo de cambio de la variable de estado, que instrumentar directamente una relación para la variable de estado. El objetivo del analista de la simulación es determinar la respuesta de las variables respecto a un periodo especificado.

Se han desarrollado algunos lenguajes de simulación continua para usarlos en computadoras digitales. Una computadora digital ejecuta las operaciones matemáticas comunes, como la suma, la multiplicación y la comprobación lógica con una velocidad y exactitud, y utiliza métodos numéricos para efectuar la operación de integración requerida en la simulación continua. Estos métodos, la variable independiente (normalmente tiempo) se divide en partes pequeñas, denominada "pasos". Los valores para las variables de estado que requieren integración se obtienen empleando una aproximación de la derivada de la variable de estado en función del tiempo. En esta situación hay

una transacción entre la exactitud de los cálculos de la variable de estado y el tiempo de corrida de computadora.

*Simulación combinada discreta-continua.* En los modelos discreto-continuo combinados, las variables independientes pueden cambiar tanto discreta como continuamente. El punto de vista global de un modelo combinado especifica que el sistema se puede describir en función de entidades, de sus atributos asociados y de variables de estado. El comportamiento del modelo del sistema se simula calculando los valores de las variables de estado en pequeños pasos de tiempo y los valores de atributos de entidades en tiempo de evento.

Hay dos tipos de eventos que pueden ocurrir en las simulaciones combinadas. Los "eventos de tiempo" son aquellos programados para ocurrir en tiempos especificados. Comúnmente se conciben considerando los modelos de simulación discretos. En cambio, los "eventos de estado" no se programan, pero ocurren cuando el sistema llega a un estado particular.

#### *Aspectos estadísticos.*

La corrida de un modelo de simulación en una computadora es, en esencia, un experimento complejo de muestreo. Por lo tanto, los procedimientos para diseñar y analizar corridas de simulación son similares a las técnicas usadas en otros experimentos científicos; la diferencia principal es que el analista de simulación tiene mayor control sobre las condiciones experimentales. Un análisis estadístico apropiado constituye una parte necesaria de un estudio de simulación para:

Usar eficientemente los datos generados por simulación en la estimación de medidas de rendimiento del sistema, y

Revelar el alcance y limitaciones de las conclusiones basadas en los datos.

La primera consideración comprende la selección de un método para la compilación y estimación de datos, así como para la resolución de cuestiones tácticas relativas a cómo iniciar, ejecutar y detener la simulación. La segunda consideración refleja tanto la validez del modelo de simulación como la adecuación de la distribución general especificando las corridas a efectuar.

Con respecto al análisis de salidas de un estudio de simulación, se hace la siguiente clasificación:

Simulaciones (sin terminación) de estado estable.- En este tipo de simulaciones se supone que, después de un período de operación suficientemente largo, la ley de probabilidades que rige el comportamiento del sistema real se estabilizará. Para este sistema se busca la estimación del estado o de las medidas promedio a largo plazo del comportamiento del sistema. A este caso se aplican la mayoría de los procedimientos estadísticos.

Simulaciones (con terminación) transitorias.- Cuando lo importante es analizar el comportamiento de un sistema respecto a un período fijado durante el cual cambia la ley de probabilidades fundamental, entonces el sistema se simula solamente en función de ese período especificado. Esta simulación terminante es apropiada:

cuando el sistema real correspondiente se detiene a intervalos regulares o

cuando se desea estudiar la respuesta a corto plazo del sistema a ciertos "impactos".

*Elección de distribuciones de probabilidad de entrada.* En la formulación de un modelo de simulación, con frecuencia es necesario caracterizar los elementos aleatorios de un sistema por medio de distribuciones de probabilidad particulares. Para seleccionar una distribución apropiada para un proceso de entrada, el analista debe comprender algunas de las propiedades básicas de las distribuciones comunes y las circunstancias en que surgen estas distribuciones.

En la etapa de adquisición de datos de un estudio de simulación, se deben reunir distribuciones de frecuencia empíricas del sistema real para cada uno de los procesos de entrada que se van a modelar. Esto permite al analista aplicar pruebas de adecuación de la concordancia para distribuciones de entrada hipotetizadas.

*Validación del modelo.* La validación consiste en determinar que el modelo de simulación es una representación razonable del sistema real. Normalmente, la validación se efectúa en niveles. Se recomienda que la validación se efectúe sobre las entradas de datos, los elementos del modelo, los subsistemas y los puntos de interfase. La validación de modelos de simulación, aunque difícil, es una tarea significativamente más fácil que la validación de otros tipos de modelos, por ejemplo una formulación de programación lineal. En los modelos de simulación hay una correspondencia entre los elementos del modelo y los del sistema. Por tanto, las pruebas para ver si es razonable comprenden una comparación de la estructura del modelo y del sistema y comparaciones del número de veces que se efectúan decisiones elementales o tareas del subsistema.

Los tipos específicos de validación implican la evaluación de la racionalidad con base en todos los valores constantes en el modelo de simulación o mediante la evaluación de la sensibilidad de las salidas

para la variación paramétrica de las entradas de datos. Al hacer estudios de validación, el patrón de comparación debe ser tanto las salidas pasadas del sistema como el conocimiento por experiencias del rendimiento del sistema. Un punto que se debe recordar es que las salidas pasadas del sistema no son sino un registro de muestra de lo que pudo haber sucedido.

*Métodos de estimación.* Cuando en un modelo de simulación se incorporan procesos de entrada aleatoria, sus medidas de rendimiento de salida también están sujetas a la variación aleatoria, y es necesario tomarlo en cuenta cuando se trate de hacer inferencias sobre el sistema verdadero correspondiente. En particular, se requieren técnicas que especifiquen cómo calcular un buen estimador de un parámetro del sistema y que también proporcionen una determinación significativa de la confiabilidad asociada con ese estimador. Una medida de confiabilidad para un estimador basado en la simulación, es la probabilidad de que el error de estimación inherente quede dentro de algunos límites aceptables. En lenguaje estadístico se requieren estimadores de punto y de intervalos de confianza de parámetros del sistema.

- *Diseño de experimentos.* Una corrida de simulación es un experimento en el cual se estima una evaluación del rendimiento de un sistema para un conjunto de condiciones prescrito. En la realización del diseño de experimentos, las condiciones se denominan "factores" y "tratamientos", donde un tratamiento es un nivel específico de un factor. Aunque los principios básicos del diseño experimental clásico también se aplican a estudios de simulación, varias características distintivas de experimentos de simulación están las siguientes:

- 1) el modelador de la simulación conoce con detalle la estructura del proceso que produce las variables de respuesta;
- 2) usualmente son fáciles de obtener las observaciones adicionales de estas variables; y
- 3) algunas veces se puede controlar la variancia de estas variables.

El principal problema implícito en los experimentos de simulación se relaciona con la definición del espacio de inferencia asociado con el modelo de simulación. Los aspectos más descuidados del diseño de experimentos asociado con estudios de simulación, son las determinaciones a priori de la amplitud con que se van a aplicar los resultados obtenidos del modelo de simulación y el desarrollo de un conocimiento completo de las inferencias que se pueden hacer.

En general, los objetivos de los experimentos de simulación son:

1. Obtener conocimientos sobre los efectos de factores controlados sobre las salidas del experimento.
2. Estimar parámetros del sistema en cuestión.
3. Hacer una selección entre un conjunto de alternativas.
4. Determinar los niveles de tratamiento para todos los factores que producen una respuesta óptima.

Cuando se relacionan múltiples factores, el enfoque para los dos primeros objetivos enumerados es seleccionar uno de los muchos diseños experimentales posibles e hipotetizar un modelo para el análisis de variancia para el diseño experimental seleccionado. El diseño experimental especifica la combinación de niveles de tratamiento junto con el número de duplicaciones de cada combinación para las que se debe ensayar el modelo de simulación. Usando los

datos obtenidos del experimento, se determinan los parámetros del modelo hipotetizado junto con la estimación de los términos de error. La importancia de cada factor se juzga luego con base en el modelo derivado, y a partir de éste se pueden calcular estimados de los parámetros de interés del sistema.

En el problema de elegir entre alternativas, se usan los procedimientos estadísticos de establecimiento de categorías y selección. Se han desarrollado muchos procedimientos para especificar el tamaño de la muestra requerido para seleccionar la alternativa cuya media de población es mayor que la siguiente mejor media de población por un valor prescrito con una mayor probabilidad dada. Los procedimientos de prueba comprenden el cálculo de la media de muestra con base en el tamaño de muestra especificado y la selección de la media de muestra más grande observada.

Un punto final relacionado con el diseño de experimentos es la optimización de un modelo de simulación. Este problema difiere de los descritos antes en que se buscan los valores para las variables controlables que maximicen o minimicen una función objetivo. Por ejemplo, el análisis de un sistema de inventario con revisión periódica, se puede desear emplear la simulación para determinar valores para el nivel de control de inventario, punto de reorden y tiempo entre revisiones que minimicen el costo promedio mensual del sistema de inventario.

Aunque los principios de optimización mediante experimentos de simulación son esencialmente los mismos que para la optimización de expresiones matemáticas, hay algunas diferencias que se deben considerar. Puesto que la respuesta de una simulación típicamente implica variables aleatorias, la función objetivo o las ecuaciones de

restricción escritas como una función de la respuesta de la simulación implicarán variables aleatorias. En consecuencia, es necesario formular restricciones de respuesta como planteamiento de probabilidades y hacer interpretaciones estadísticas del valor de la función objetivo. Otra diferencia importante en la optimización basada en la simulación es que ni la función objetivo ni sus derivadas tienen una forma cerrada; de hecho, la función objetivo puede incluso no tener derivadas en algunos puntos. También cabe hacer notar que la evaluación de una función objetivo generada por simulación es mucho más costosa que la evaluación de una expresión matemática.

Se han utilizado dos enfoques básicos para la optimización usando modelos de simulación. El primero implica una evaluación directa de las variables independientes mediante el modelo de simulación. Farrel divide estas técnicas en tres categorías: Técnicas ingenuas matemáticamente, como la búsqueda heurística, la enumeración completa y la búsqueda aleatoria; métodos apropiados para funciones objetivas unimodales, como la búsqueda coordinada y la búsqueda patrón; y métodos para objetivos multimodales.

El segundo enfoque para la optimización mediante la simulación es la metodología de superficie de respuesta. En este método se ajusta una superficie a observaciones experimentales usando un diseño factorial en la cercanía de un punto de búsqueda inicial. Luego se aplica un algoritmo de optimización, como el método gradiente, para determinar los valores óptimos de las variables controlables relacionadas con la ecuación ajustada. Los valores óptimos para la superficie ajustada se usan después para definir el siguiente punto de búsqueda.

- Planeación táctica. El objetivo de la planeación táctica es hacer el uso más eficiente del modelo de simulación en la ejecución de corridas especificadas por el diseño experimental de conjunto. Este tema incluye tres aspectos principales: 1) determinación de una política de iniciación del modelo que evite desviación inicial, 2) control de la ejecución de un modelo a fin de reducir la variancia de las salidas, y 3) determinación de un punto de parada en la experimentación cuando se ha reunido una cantidad suficiente de datos, con el fin de asegurar una confiabilidad aceptable en los resultados finales.

### 2.3. Pasos para un estudio de simulación.

El proceso para el desarrollo eficaz de un modelo de simulación empieza con un modelo sencillo que se va afinando de una manera evolutiva hasta satisfacer los requerimientos para resolver el problema. Dentro de este proceso se pueden identificar las siguientes etapas:

Planteamiento del problema.- La definición del problema que se va a estudiar, incluyendo una determinación del objetivo de la resolución del problema.

Construcción del modelo.- La abstracción del sistema en relaciones lógico-matemáticas de acuerdo con el planteamiento del problema.

Adquisición de datos.- La identificación, especificación y colección de datos.

Traducción del modelo.- La preparación del modelo para el procesamiento en computadora.

**Verificación.**- El proceso de establecer que el programa de computadora se ejecute como se pretende.

**Validación.**- El proceso de establecer que exista exactitud o correspondencia entre el modelo de simulación y el sistema real.

**Planeación estratégica y táctica.**- El proceso de establecer las condiciones experimentales para usar el modelo.

**Experimentación.**- La ejecución del modelo de simulación para obtener valores de salida.

**Análisis de resultados.**- El proceso de analizar las salidas de simulación para hacer inferencias y hacer recomendaciones para la resolución del problema.

**Ejecución y documentación.**- El proceso de poner en práctica decisiones resultantes de la simulación y de la documentación del modelo y su uso.

Estas etapas del desarrollo de la simulación se efectúan muy pocas veces en una secuencia estructurada, empezando con la definición del problema y terminando con la documentación. Un proyecto de simulación puede implicar inicios en falso; suposiciones erróneas que se deben abandonar más adelante, replanteamiento de los objetivos del problema, y evaluación y rediseño repetidos del modelo. Sin embargo, si se hace correctamente, este proceso iterativo debe producir un modelo de simulación que determine adecuadamente las alternativas y propicie el proceso de toma de decisiones.

#### *Elección de un Lenguaje de Simulación.*

A menudo, la elección de un lenguaje de simulación se basa en el conocimiento y la disponibilidad y no en una comparación formal de las características del lenguaje. Sin embargo, si se preve el uso

frecuente de la simulación, entonces se garantiza una evaluación concienzuda de los lenguajes disponibles y las necesidades previstas del modelado. La Tabla 1, muestra las características para evaluar un lenguaje de computación.

### 2.3.2. Aplicaciones de Simulación.

Las aplicaciones de la simulación por computadoras se han incrementado rápidamente en los últimos 20 años. Investigaciones realizadas indican que la simulación y la estadística son las técnicas cuantitativas que se usan más ampliamente en el gobierno y la industria. El desarrollo continuo de lenguajes de simulación ha constituido un importante factor en esta expansión. Otro factor importante es la flexibilidad del modelado de simulación si se compara, con las restricciones estructurales impuestas por una formulación de programación matemática de un problema. Aun cuando se puede aplicar un modelo analítico a un problema, la simulación se suele usar para estudiar las implicaciones prácticas de los supuestos fundamentales en el modelo analítico.

No es difícil diseñar y desarrollar modelos de simulación para uso industrial. Típicamente estos modelos tienen un tamaño mayor, pero no son más complejos en cuanto a concepto, que los modelos presentados en la mayoría de los libros de texto standard sobre simulación. Al construir modelos de simulación, el analista debe tener en cuenta los enfoques alternativos disponibles para ellos y evitar la conformidad rígida con un conjunto fijo de reglas de modelado. Estas innovaciones del modelado se pueden encontrar en una amplia variedad de áreas de aplicación.

Operaciones de fabricación.- Se han efectuado numerosos estudios en las siguientes áreas:

1. Diseño de Planta .
2. Mejoramiento de la productividad .
3. Asignación de fuerzas de trabajo.
4. Fabricación auxiliada por computadora.
5. Programación.
6. Manejo de materiales.

Sistemas de transporte.- En años recientes se han investigado ampliamente los siguientes temas:

1. Rendimiento del sistema de ferrocarril de pasajeros.
2. Programación y trazo de rutas de autobús.
3. Control de tráfico aéreo.
4. Operaciones de terminal aérea.

Planeación y control del proyecto.-

1. Planeación de producto.
2. Mercadeo.
3. Investigación y desarrollo.
4. Construcción.

Planeación financiera.- El trabajo en esta área incluye:

1. Análisis de flujo de caja.
2. Modelos corporativos.
3. Modelos econométricos.

Estudios ambientales y ecológicos.- Las aplicaciones típicas en esta área se han centrado en:

1. Control de ríos.
2. Control de contaminación.
3. Poblaciones marinas.

4. Agricultura.
5. Control de insectos.

Sistemas de atención de la salud

1. Manejo de inventarios.
2. Planeación de hospitales.
3. Planeación de fuerza de trabajo.
4. Manejo de materiales.

| CARACTERISTICA                                | CONSIDERACION  |
|---|--|
| Capacitación requerida                        | Facilidad para aprender el lenguaje  |
| Consideración de codificación                 | Facilidad para conceptuar los problemas de simulación<br>Facilidad de codificación, incluyendo el muestreo aleatorio y la integración numérica<br>La medida en la que el código se autodocumenta |
| Portabilidad                                  | Disponibilidad de lenguaje en otras o en nuevas computadoras   |
| Flexibilidad                                  | La medida en que el lenguaje apoya conceptos de diferentes modelos<br>Capacidad integrada para obtener estadísticas  |
| Condiciones de procesamiento                  | Lista de posibilidades de procesamiento<br>Capacidad para agotar el núcleo<br>Facilidad de producción de informes estándar<br>Facilidad de producción de informes especiales                     |
| Depuración y confiabilidad                    | Facilidad para depurar<br>Confiabilidad de los compiladores, los sistemas de apoyo y la documentación  |
| Consideraciones respecto al tiempo de corrida | Velocidad de compilación<br>Rapidez de ejecución   |

Tabla 2.1 Características para evaluar un lenguaje de computación.

### **3. INFORMACION GENERAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO**

### 3.1. Breve bosquejo del Sistema Productivo.

Electro Optica, Sociedad Anónima, es una Empresa clasificada dentro de la industria de Autopartes que trabaja bajo la patente Alemana "HELLA", con Casa Matriz en Lippsdat, Alemania.

Teniendo sus orígenes en México el mes de Agosto de 1969, y hasta la fecha, la compañía ha contribuido al desarrollo de la Industria Automotriz Nacional e Internacional creando y desarrollando básicamente equipo de partes originales, que finalmente reditua en seguridad y confort de los usuarios de automóviles. La fabricación de faros, señales luminosas, espejos, luces, bocinas, claxons, interruptores y accesorios, vienen siendo la línea de fabricación de esta empresa.

La Filosofía de Calidad "HELLA" tiene una estrategia y una organización de calidad definida, siendo su objetivo principal tener satisfechos a sus clientes con todo lo que se manufactura en "HELLA". Esta calidad se demuestra en la preferencia de los fabricantes automotrices más importantes del mundo, como lo son V. W., Ford Motor Company, General Motors de México, Chrysler de México, Nissan Mexicana, entre otros.

Los productos "HELLA" se distribuyen en más de 138 países, quedando representada en los mercados más importantes de Europa y América. Utilizando el material plástico, a base de poliestireno, como principal materia prima por su facilidad de manejo y bajo costo, ofrece soluciones a difíciles y diferentes diseños para poder ser trabajados, permanenciando a la vanguardia de la tecnología. En el diseño de dispositivos técnicos de iluminación, así como todos los productos elaborados para automóviles y camiones, tales como faros y

lámparas, satisfacen requisitos determinados como reglamentos y normas legales, así como requisitos de los clientes y condiciones de entrega. Siendo garantizada la calidad y la posibilidad de su fabricación. Así, por ejemplo, los reglamentos legales en los países europeos (ECE) así como en los Estados Unidos de Norteamérica (SAE), determinan la distribución de haz de luz requerida para circular, en los nuevos desarrollos de los faros para automóvil, lo que garantiza una iluminación del camino segura para la circulación.

### 3.2. Organización General del Sistema.

La organización cuenta, dentro del organigrama de primer nivel, con el Director General, teniendo a su cargo cuatro direcciones, Ventas, Dirección Técnica, Finanzas y Aseguramiento de Calidad. Además de estas direcciones, le reportan las gerencias de Relaciones Industriales, Sistemas y Abastecimiento (Compras), Ver Figura 3.1.

Cada una de las Direcciones, a su vez, tienen a su cargo las siguientes Gerencias. Dirección de Ventas, Gcia. de Ventas; Dirección Técnica, Gcia. de Producción, Gcia. de Mantenimiento, Gcia. de Ingeniería, Gcia. de Programación y Control de la Producción; Dirección de Finanzas, Tesorería, Contralor General, Gcia. de Costos Industriales, Auditoría Interna y Crédito y Cobranzas, y; por último, Dirección de Aseguramiento de Calidad, Gcia. de Aseguramiento de la Calidad.

Esta última Dirección contempla el departamento de Auditoría Final de Productos Terminados, al cual daremos mayor seguimiento ya que es el centro del estudio, ver el organigrama de la Figura 3.2. En el

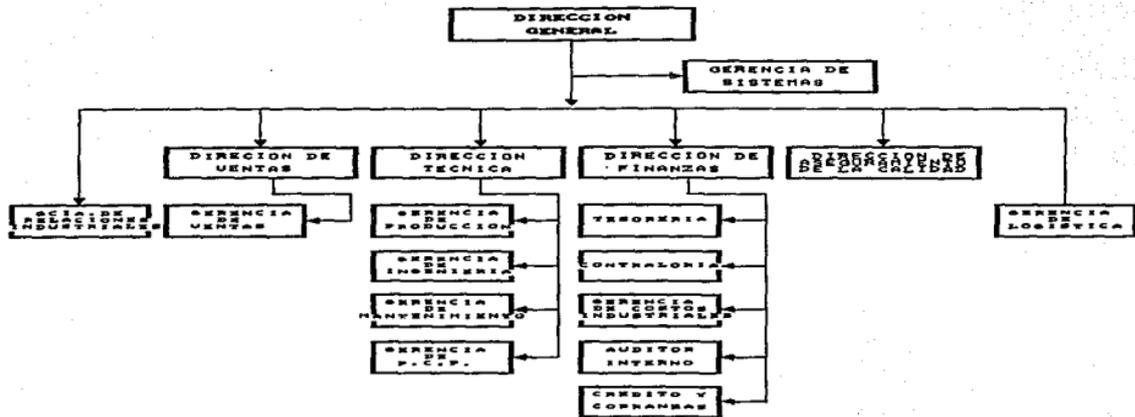


Figura 3-1 Organigrama General de primer nivel. Electro Optica S.A.

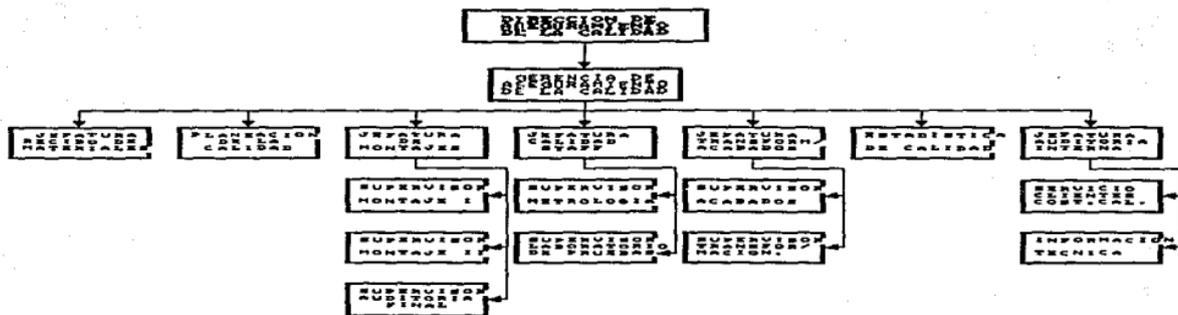


Figura 3.2 Organigrama General de la Dirección de Aseguramiento de la Calidad.

capítulo siguiente se darán más detalles de funcionamiento de dicho departamento.

Dentro de la rama de la Dirección Técnica, encontramos a la Gerencia de Producción y la Gerencia de Control y Programación de la Producción, sin tomar en cuenta por el momento a la Gerencia de Mantenimiento e Ingeniería, que en sí son departamentos de servicio pero de mucha ayuda para el desarrollo de todo el proceso productivo, ya que son los encargados de que operen correctamente todas las instalaciones de la empresa en forma adecuada según sean las necesidades y el tipo de cada una de estas.

Específicamente hablando de los departamentos productivos, representados por la Gerencia de Producción, del organigrama de primer nivel, ver Figura 3.3, tenemos los siguientes Departamentos: Superintendencia de Transformación: Troquelados, Zamac, Plásticos; Jefatura de Acabados: Pintura, Pulido y Galvanoplastia; y por último, Superintendencia de Fabricación: Metalizado, Subensambles, Ensamblados, Empaques y Almacenes de Producto Terminado. Todos estos departamentos, son la fuerza motriz de la empresa como Sistema productivo, ya que ellos son los que guían y encabezan el proceso productivo hacia el desarrollo de productos, y así satisfacer las necesidades de los clientes.

### **3.2. Descripción General de los Procesos Utilizados.**

En la Figura 3.4 se muestra el Diagrama de Flujo General de los procesos de fabricación por departamentos. En este se observa el camino que siguen los distintos materiales que entran como componentes en la variedad de productos que se elaboran en este

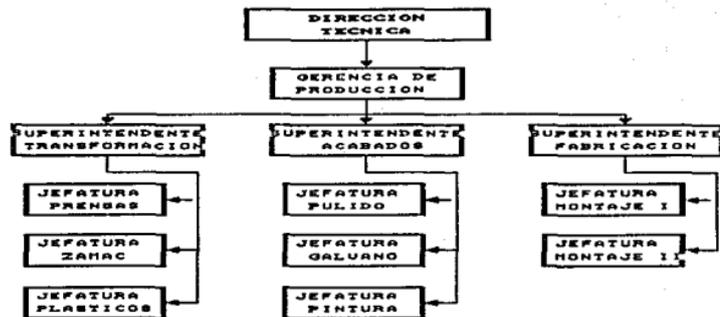


Figura 3.2 Organigrama General de la Gerencia de Producción.

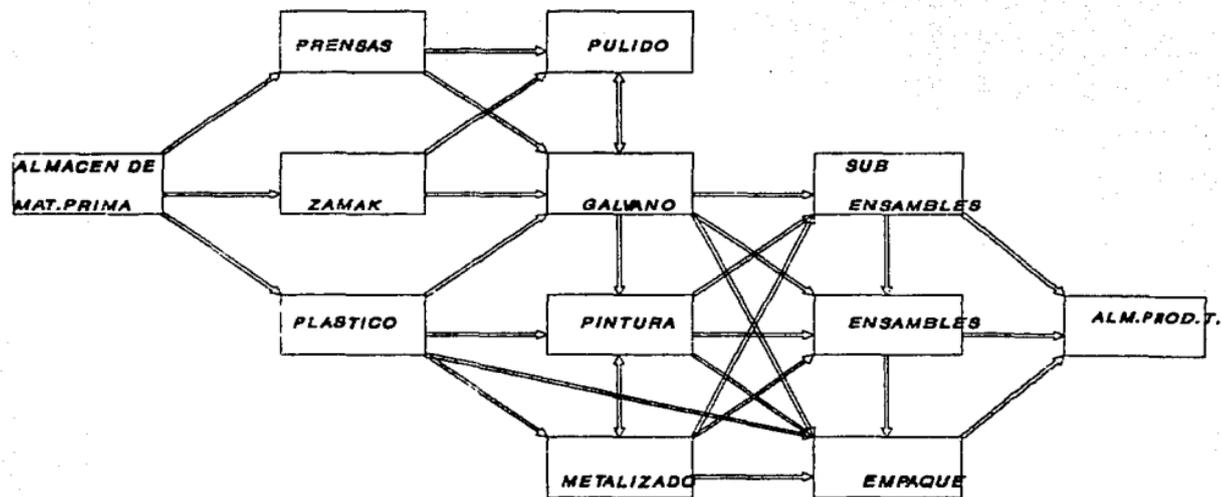


Figura 3.4 Flujo general del proceso de producción por departamentos.

Sistema productivo. A continuación se describen las características generales de cada departamento productivo, así como sus principales procesos en la manufactura de sus artículos.

*Troquelados (Prensas).*

Con máquinas de 40 hasta de 250 ton., punteadoras, cizalla, roladora y punteadora, se realizan los diferentes pasos para cambiar la forma de los metales, como lo son el corte (recorte, punzonado, muescado, perforado, ribeteado, desbarbado, ranurado y lanceteado), el doblado (doblez en ángulo, rebordeo, plegamiento, formado y unión), el embutido (formación de bridas, tubos, realzar, combado, copado y reducción) y el prensado (acuñado, dimensionado, aplanado, estampado, forjado en frío, remachado, recalado, extrusión, y prensado en caliente). En este grupo de procesos, el material cambia su forma inicial para convertirse en una parte específica. La materia prima utilizada en este departamento es generalmente lámina (hojas metálicas), el tipo específico de cada lámina depende de cada producto, ésta llega a el área de inspección de recibo de materiales, en donde se inspeccionan características tales como la ductibilidad, resistencia a la tensión, facilidad de endurecimiento por enfriamiento brusco de aceite o en aire en vez de agua, rajaduras o torceduras, Habilidad de retener las propiedades físicas a temperaturas extremas, Baja susceptibilidad a la corrosión y al desgaste, dependiendo de la aleación, Promoción de las propiedades metalúrgicas deseables, tales como el tamaño fino del grano, etc. Después es llevada al almacén de materia prima, de aquí, de acuerdo a las necesidades del plan maestro de fabricación se programa y se envía a éste.

Una vez encontrándose la materia prima dentro del departamento, se monta el rollo de lamina a un alimentador (solo en caso de dos prensas) que es el encargado de abastecer a la prensa, la prensa a sido preparada colocandole el troquel y la lámina.

Los troquelados pueden ser de acuerdo al tipo de matriz, simples, de un paso, compuestos, progresivos, de transferencia u hidráulicas, esto dependiendo de el tipo de pieza de la cual se trate. Las piezas, para tener un troquelado con una calidad aceptable, antes de troquelarlas se impregnan con aceite de coco o con aceite Tuf Draw 1919 de Franklin Oil. Después de troquelada la pieza se inspecciona y posteriormente se envía a los departamentos siguiente; Pulido, si se requieren lijar, desbastar o pulir ciertas zonas como reflectores metalicos o manijas, en su caso; Galvanoplastia, para dar acabados metalicos.

#### Zamac.

Arriba del 75% de los colados producidos por matrices, son del tipo de aleaciones a base de cinc, superandolo solamente por los plasticos, por el gran facilidad para ser modelados y su fuerte desarrollo técnico. La aleación compuesta de cinc, aluminio, magnesio y cobre tiene considerable resistencia a los esfuerzos y son de bajo costo, además, de moldearse con facilidad y tener un buen acabado aun en temperaturas un tanto bajas. El aluminio en cantidades alrededor de 4%, mejora grandemente las propiedades mecánicas de las aleaciones, y, además, reduce la tendencia del metal para disolver el hierro. El cobre aumenta la resistencia a la tensión, la ductabilidad y la dureza. El magnesio, que comunmente se mantiene en un máximo de 0.04%, se utiliza debido a los efectos benéficos que tiene al hacer a los colados permanentemente estables. Estas aleaciones de cinc

(comunmente llamadas de Zamac), se emplean ampliamente en este tipo industrias de manufactura de autopartes y para otros productos de gran producción.

Contando con máquinas inyectoras de 5 a 250 ton., en este departamento se funde el zamac en los crisoles de las máquinas de inyección a presión, la temperatura que debe de alcanzar la aleación fundida es de 400°C, cuando el metal alcanza esta temperatura esta listo para ser inyectado, al molde que se encuentra montado en la máquina de inyección a presión, se le aplica un líquido desmoldante (Chen-Trend antiadherente SL 1001 Sup disuelto en agua), con la finalidad de que la pieza no se pegue a el molde, después de inyectarla se retira la pieza del molde y son enfriadas inmediatamente después de retirarla en agua con un liquido antioxidante (bicromato de potasio disuelto en agua). La pieza puede retirarse la colada de manera manual o utilizando una prensa con un troquel. Después de la separación de la colada, la pieza generalmente lleva un trabajo de rebabeo y otros pasos mas como taladrados, avellanados etc., lo cual se realiza en el departamento de Pulido y posteriormente, darle un acabado en el departamento de Galvanoplastia.

#### Plásticos.

La fabricación de productos plásticos en gran escala, data de una fecha comparativamente reciente. El descubrimiento de la ebonita o hule duro por Charles Goodyear en 1839 y el descubrimiento del celuloide por J.W Hyatt en 1869 marcaron el comienzo de esta industria. No fue, sin embargo, sino hasta 1909 cuando uno de los materiales más importantes, la resina de fenoformaldehído, fue desarrollada por el Dr. L.H. Baekland y sus colegas. Desde entonces,

la investigación ha agregado numerosos materiales sintéticos que varían ampliamente en propiedades físicas.

En general el término "plástico" se aplica a todos los materiales capaces de ser moldeados o modelados. El uso moderno de esta palabra ha cambiado su significado hasta incluir un extenso grupo de materiales orgánicos sintéticos que se hacen plásticos por la aplicación del calor y son capaces de formarse bajo presión. Sustituyen a materiales tales como el vidrio, madera y metales en la construcción y producen muchos artículos útiles, incluyendo revestimientos y filamentos para tejidos. Los productos hechos de materiales plásticos pueden producirse rápidamente con tolerancias dimensionales exactas y excelentes acabados en las superficies. Frecuentemente han sustituido a los metales en los casos en que han de ser cualidades esenciales, la ligereza del peso, la resistencia a la corrosión y la resistencia dieléctrica; otra característica importante de estos productos es que pueden hacerse transparentes o en colores. Existen actualmente más de 50 clases distintas de plásticos, en la producción comercial, que ofrecen una amplia variedad de propiedades físicas. El uso de los plásticos queda limitado por su comparativamente baja fuerza, por su poca resistencia al calor y en algunos casos por el alto costo de los materiales y poca estabilidad dimensional.

Los materiales plásticos se pueden clasificar en términos generales como termofraguantes y termoplásticos. Los compuestos termofraguantes son formados mediante calor y con o sin presión, resultando un producto que es permanentemente duro. El calor ablanda primeramente al material, pero al añadirle más calor o sustancias químicas especiales, se endurecen por un cambio químico conocido como

polimerización. La polimerización es un proceso químico que da como resultado la formación de un compuesto nuevo cuyo peso molecular es un múltiplo del de la sustancia original. Los materiales termoplásticos no sufren cambios químicos en el moldeo y no se vuelven permanentemente duros con la aplicación de presión y calor. Permanecen suaves a temperaturas elevadas hasta que endurecen por enfriamiento, además, se les puede fundir repetidamente por aplicaciones sucesivas de calor, como en el caso de la parafina. Los procesos utilizados para los plásticos termofraguantes, incluyen el moldeo o fundición soluble, pero no pueden ser extruídos o satinados. Los materiales termoplásticos se usan generalmente en el moldeo por inyección, ya que son especialmente adaptables a la producción rápida. El molde se mantiene a una temperatura constante, generalmente de 65 a 95°C, por circulación de agua; siendo posible una producción de dos a seis golpes por minuto. En el moldeo por inyección, el costo de los moldes es menor, puesto que son necesarias menos cavidades para mantener una producción equivalente. Las inserciones de metal, tales como cojinetes, contactos o tornillos, se pueden aplicar en el molde y vaciarse integralmente con el producto. Las pérdidas de material en el proceso son bajas, ya que las coladas y los alimentadores pueden volverse a fundir. Aun cuando las capacidades de las máquinas de inyección varían de 55 g a 225 g, las máquinas con capacidades de 225 g a 450 g para partes pequeñas, son más populares.

Los materiales termofraguantes pueden ser moldeados por inyección o por un proceso conocido como moldeo a chorro. Con unos cuantos cambios de menor importancia, casi cualquier máquina normal para moldeo de termoplásticos por inyección, se puede convertir en una

máquina de moldeo a chorro, Se quita del calentador el dispersador de torpedo y el calentamiento principal de los materiales resinosos se concentra desde la boquilla a la colada. por el agua de circulación y se quita la presión en la cámara. No se presentan más cambios químicos del material hasta que se ha repetido el ciclo. La Tabla 3.1, muestra el comportamiento de algunos plasticos utilizados en la industria al ser procesados.

Una vez inyectados los materiales, se retiran las piezas del molde, se separa la colada de la piezas, se inspeccionan las piezas y se envían a los siguientes departamentos: Galvanoplastia caracasas de espejos, biceles y otros articulos que se deseen dar acabado metalico; Pintura, igual que el caso anterior, para dar acabado; y, Metalizado, para recubrir zonas de reflectores plasticos.

#### *Pintura.*

*Preparación del metal antes de Pintar.* Los que especifican, fabrican y utilizan productos metálicos ferrosos pintados aceptan el revestimiento fosfático como esencial para la adhesión continua de la pintura y para la resistencia prolongada contra la corrosión. En realidad, para el acabado orgánica, el fosfatisado es considerado tan importante como la pintura misma. El término "pintura" cubre varios tipos; también, el término "revestimiento fosfático" cubre no solamente un revestimiento único sino una variedad de revestimientos. Cada uno tiene sus características químicas y físicas. Ciertos revestimientos se forman rápidamente, otros despacio, algunos son delgados, otros espesos; algunos limpian y fosfatan simultaneamente una superficie, otros no. Todos estos factores afectan la selección de un tratamiento antes de pintar para cierto producto y operación.

| DESCRIPCION           | CLAVE    | N O R M E O<br>TEMP.<br>(°C) | IMP.<br>(hrs) | FORMA DE<br>SUMINISTRO | ANALISIS<br>DE LA FALLA<br>CAUSA | DEL MODO Y EFECTO DE<br>LA FALLA<br>EFECTO |
|-----------------------|----------|------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------------|--|
| POLIAMIDA             | P.A.     | 80 a 90                      | 3 a 4         | 25 KG                  | EXCESION                         | DEGRADACION PRODUCE                        |
| POLIESTERENO          | P.B.     | S/H                          | S/H           | 1000 LB                | - - - -                          | EXCESION                                   |
| POLIPROPILENO         | P.P.     | S/H                          | S/H           | 25 KG                  | - - - -                          | NO PRODUCE GASES                           |
| POLIOXIMETILENO       | P.O.M.   | N/A                          | N/A           |                        | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| POLIETILTEREFTALATO   | P.E.T    | 100 a 110                    | 3 a 4         |                        | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| POLIBUTILTEREFTALATO  | P.B.T.   | N/A                          | N/A           |                        | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| POLICARBONATO         | P.C.     | 100 a 100                    | 3 a 4         | 25 KG                  | - - - -                          | EXCESION                                   |
| ACRIBUTILESTIRENO     | A.B.B.   | N/A                          | N/A           |                        | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| POLIMETILMETA         | P.M.M.A. | N/A                          | N/A           |                        | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| NASA ABS              | N.A.B.B. | N/A                          | N/A           |                        | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| POLICLORURO DE VINILO | P.V.C.   | S/H                          | S/H           | 25 KG                  | EXCESION                         | EXCESION                                   |
| OXIDO DE POLIFENILENO | P.P.O.   | N/A                          | N/A           | 25 KG                  | EXCESION                         | EXCESION                                   |

NOTA: S/H: Sin horno  
N/A: No aplica

TABLA 3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE ALGUNOS PLASTICOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE AUTOPARTES.

**Fosfatizado.** El baño o revestimiento de fosfatizado, es el resultado de diluir ácido fosfórico y otros químicos en agua, aplicadas a superficies metálicas. Se puede aplicar con máquinas rociadoras, tanques con cámara de reacción, barriles, pistola a presión o por unidades rociadoras a presión. El fosfatizado trabaja reaccionando con la superficie del metal, agregándole una densa capa cristalina del acabado fosfático amorfo. Por la alteración de las aplicaciones del proceso, y/o malos químicos, el revestimiento del fosfatizado puede encontrarse entre cualquiera de los rangos siguientes, de 20 a 100 mg/ft<sup>2</sup> hasta de 3000 a 4000 mg/ft<sup>2</sup>.

El fosfatizado se aplica en diferentes metales, tales como el acero, hierro, cinc, acero galvanizado, aluminio, y cadmio, entre otros. Este revestimiento de los metales se utiliza para dar a la superficie del metal una buena adherencia a la pintura además de proteger la superficie en contra de la corrosión, ver Figura 3.5. Además, prepara la superficie del metal para recibir material de aporte como plásticos u otro tipo de recubrimientos. Preacondiciona las superficies del metal formado por operaciones como la extrusión, el rompimiento y la fricción, dándoles el apoyo necesario de base para soportar componentes de pintura y lubricantes.

**Pintura líquida, en polvo y laqueados.** Las piezas que se pintan con pintura Líquida, dependiendo del tipo y de la forma de la pieza, se limpian con un trapo impregnado con alcohol y se les coloca sobre una base, o se les coloca una mascarilla, hay piezas que no necesitan ningún aditamento especial. Se sopletean las piezas con aire desionizado para eliminar posibles partículas antiestáticas que contaminen la pintura. Aplicando la pintura en las cabinas atomizadoras, se dejan orear las piezas después del pintado, algunas

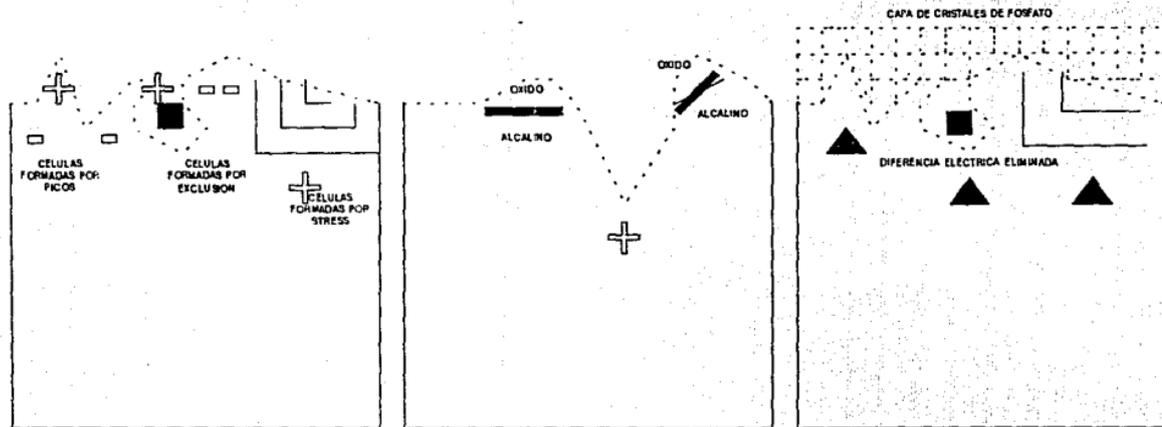


Figura 3.5 Actuación del recubrimiento de fosfato sobre el

metal a cubrir.

piezas llevan un horneo posterior y otras no lo requieren, después de este horneo se dejan enfriar las piezas. Las piezas de zamac se colocan en charolas y se hornean antes de pintarse para desnitrógenizar las piezas y evitar el abolsamiento de la pintura en las zonas pintadas. Después del horneo se dejan enfriar un cierto tiempo, se limpian y montan en racks, se llevan a la cabina, se sopletean con aire desionizado y se aplica la pintura. En el que caso de la pintura en polvo se aplica electrostáticamente, ya que se adhire mejor a este tipo de material por la relación electrostática de la pintura y el material. Posteriormente se llevan las piezas a hornear de 20 a 30 min a una temperatura de 175 a 180°C, dejando orear la pieza antes del siguiente paso. Las piezas de fierro se someten a un proceso de fosfatizado antes de ser pintadas, después se limpian y montan en racks, se llevan a la cabina, se sopletean y se aplica la pintura, se llevan las piezas a hornear de 20 a 30 min a una temperatura de 175 a 180°C, dejandola enfriar antes de ser inspeccionada y transferida al siguiente paso del proceso.

Las cabinas atomizadoras tradicionales, con cortina de agua, funcionan bien cuando el agua de la cortina situada atrás de las piezas pintadas absorbe eficazmente la pintura excesiva y la vierta al sumidero. La pintura flotante es desespumada o rebosada de la superficie. La pintura que se deposita en el fondo es recogida o regada cuando se drena el sumidero.

La pintura por sí sola causa problemas. Flota en el agua en forma de un líquido viscoso y pasa por la bomba, tuberías y toberas de nuevo a la cortina de agua. En este estado viscoso, es susceptible a adherirse a toda superficie con que entra en contacto. Tiene la tendencia de obstruir bombas y tuberías y por seguro algunas toberas. Esto rompe

la uniformidad de la cortina de agua y la pintura sobrante se acumula en las pared posterior. La pintura sobrante puede también pasarse a los ventiladores y adherirse a las aletas y al interior de, los conductores de ventilación. Para evitar estas dificultades debe tratarse el agua de la cortina con un aditivo químico que convierta a la pintura en inofensiva volviendola frágil, no adherente y anticongelante.

El Laqueado por inmersión de las piezas al llegar al departamento son revisadas para ver el estado en que se encuentran. Las piezas que serán sometidas a este proceso primero deberán ser fosfatizadas, posteriormente son montadas en racks, se sumergen en un recipiente que contiene laca, se retira del recipiente y se deja escurrir, se orea y se le da un ligero horneado, se deja enfriar, se desmontan las piezas del rack y se revisa el acabado de la superficie laqueada.

#### *Pulido y Rimado.*

Las ruedas de género o bandas cubiertas con partículas abrasivas, se usan para la operación de pulido. No se considera como proceso de precisión para quitar metal, pero se puede quitar suficiente para eliminar rayaduras u otras imperfecciones menores. Tanto las ruedas como las bandas son flexibles y se conforman con áreas irregulares y redondas, cuando es necesario. Las bandas anchas se usan para pulir placas, hojas y otras partes metálicas grandes. La cantidad de metal que se elimina y el acabado de las superficies es controlado por las características del material que se trata de pulir, por la velocidad de la banda, la precisión y el tamaño del grano.

Las ruedas pulidoras se hacen de discos de tela de algodón, lona, cuero, fieltro o materiales similares, engomados o cosidos juntos, para proporcionar el ancho requerido de la cara y, por lo general, se

refuerzan lateralmente con discos metálicos. Estas ruedas se engoman o se les pone un cemento frío e inmediatamente se hacen rodar sobre una artesa que contiene granos abrasivos. Una vez seca, se le puede dar una segunda aplicación de pegamento y abrasivo. Cuando la rueda esta seca, se quiebra la superficie dura abrasiva, golpeando diagonalmente a lo largo de la cara de la rueda con una barra de hierro. Esta acción reduce a áreas pequeñas la capa de goma y abrasivo, lo cual le proporciona a la rueda flexibilidad y una buena acción pulidora. Se usan como abrasivos, el óxido de aluminio y el carburo de silicio de diferentes tamaños de granos. Usualmente la pieza se pasa sobre diferentes ruedas de tamaño decreciente de grano, antes de obtener el pulido final.

El rimado es la operación de agrandar un agujero ya labrado, a tamaño correcto con un acabado terso. Una rima es una herramienta de precisión y no está diseñada para quitar mucho material; en consecuencia el margen que se deja para rimar, no debe exceder de 0.38 mm. dependiendo del trabajo que se elabore.

Las piezas que llegan a este departamento, si llevan algún maquinado (taladrado, machueleado, rimado etc.) este se realiza antes, después se inspecciona y se manda a lijado, posteriormente y de acuerdo a la pieza se manda a pulido con manta o a pulido con sisal, se inspecciona y envia a el departamento de Galvanoplastia para el siguiente proceso.

#### *Galvanoplastia.*

La galvanoplastia ha servido durante mucho tiempo como un medio para aplicar a los metales capas decorativas y protectoras. Para la resistencia al desgaste y la abrasión, el metal más sobresaliente utilizado en el recubrimiento de las superficies, es el cromo. Las

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

capas son rara vez inferiores a 0.05 mm de espesor, pudiendo ser considerablemente más gruesas. No se aplican a un metal originalmente blando, sino directamente a un metal duro. Si se depositara sobre un metal blando como el cobre o el níquel, el producto tendría una alta resistencia a la corrosión, pero su resistencia a la abrasión y a la deformación sería mucho menor. Por lo tanto, la medida de la dureza o de la resistencia a la abrasión es, hasta cierto punto, una función del metal sobre el cual se deposita, así como el depósito mismo de cromo.

Desde el punto de vista electroquímico, el proceso es un fenómeno de electrólisis en el cual el objeto por recubrir constituye el cátodo, la solución electrolítica corresponde a una fórmula que contiene a los iones del metal que se ha de depositar y el ánodo está constituido por el metal o aleación de recubrimiento. En estas condiciones se pretende que, a medida que la solución deposita el metal de recubrimiento sobre el objeto, reduciéndose en la superficie de éste, la pieza del metal de recubrimiento se disuelve por oxidación en la solución electrolítica. Para esto se requiere de corriente directa sin que necesariamente sea continua; puede ser corriente alterna rectificada, aún cuando sea sólo de media onda. Se supone que el voltaje aplicado en todos los casos será mayor al voltaje de descomposición del baño electrolítico. Sin embargo, aquel queda condicionado por la intensidad de la corriente aplicada y la resistencia del electrolito.

El proceso en sí, que en principio resulta sencillo de entender, está condicionado por las propiedades físicas y químicas que se requieren en la superficie del objeto recubierto, las que finalmente definen la estructura del baño y las condiciones de trabajo. En este sentido los

factores externos que influyen de manera definitiva en la naturaleza del recubrimiento son, principalmente, la densidad de corriente (amperes/dm<sup>2</sup>) que atraviesa el circuito electrolítico, el pH del baño, la densidad, la viscosidad y la tensión superficial del mismo, así como la temperatura de operación. De estos factores, probablemente los más significativos sean: la densidad de corriente, el pH de la solución y la temperatura de trabajo. Sin embargo, no pueden dejar de considerarse las demás variables, sobre todo cuando se trata de recubrimientos de superficies curvas y onduladas.

El baño electrolítico está constituido, en general, por: a) una sal del metal por depositar; b) diversos compuestos (electrolíticos) para regular la conductividad eléctrica y el pH del baño, y; c) agentes (compuestos orgánicos) que modifican las características de la superficie de recubrimiento.

Las superficies deberán de estar completamente pulidas y limpiadas antes de comenzar la operación. En virtud de que la rapidez con que se efectúa la depositación es considerablemente pequeña, las piezas deberán permanecer en los tanques varias horas para un recubrimiento grueso. Aunque la limpieza se considera esencial en todo proceso de fabricación, ensamblaje y acabado de metales, el nivel de ésta es determinado por la operación subsecuente. Las piezas a electroplatear requieren una superficie excepcionalmente limpia; piezas a tratar con aceite y para almacenar no requieren ese grado tan elevado de limpieza. El cromo ha probado ser satisfactorio para piezas que han de resistir el desgaste, debido a su extrema dureza, que excede a la mayoría de los metales comerciales. De acuerdo con la escala Brinell la dureza del depósito del cromo oscila entre 500 y 900. Esta amplia

variación, no es debida al metal, sino a los métodos y equipos usados.

El galvanizado, recubrimiento de cinc, es utilizado ampliamente para proteger el acero de bajo carbono del deterioro atmosférico. Permite un recubrimiento de bajo costo que tiene un buen aspecto y buenas propiedades para resistir el desgaste. Es posible producir una mejor apariencia, conocida como el efecto de "estrellado", añadiendo pequeñas cantidades de estaño y aluminio. Los baños de cinc se mantienen por lo general, a 460°C aproximadamente. Para quitar los excesos de cinc del producto, se utilizan rodillos, agitadores, y escobas de metal. Para láminas y el alambre se utilizan procesos continuos y automáticos. También se pueden aplicar capas de cinc por atomizado del cinc fundido sobre acero, por sherizado, que es el frotamiento de los productos en polvos de cinc, a temperaturas elevadas y por galvanoplastia.

Procesándose materiales de zamack, fierro y plástico, se llevan a cabo procesos como los de cromado y zincado, además de las limpiezas y decapados, que acondicionan a los metales para darles el acabado o tratamiento posterior si van a ser pintados. Además de estos procesos, se realiza el proceso del pavonado, proceso en el cual se sumergen el acero o el hierro en un baño fundido (316°C) de nitrato de potasa (salitre) durante 1 a 15 min., estas sales se pueden usar para colorear el latón y el acero por inmersión a temperaturas elevadas. La Figura 3.6 muestr el flujo que sigue cada uno de estos materiales, se observa, las piezas de Zamac tienen dos tipos diferentes de procesos el pavonado o el cromado, ya que esta en función del producto terminado y del tipo de pieza en sí.



Los Tropicalizados de piezas de Fierro y de Zamack, Pasivados azules de piezas de Fierro y de Zamack, son tratamientos que se les dan a las piezas para aumentar su resistencia contra los envates de la corrosión, por lo general, son piezas que por su ubicación en los productos finales, entran en contacto directo con el medio ambiente.

*Sub-Ensamblés, operaciones auxiliares y Ensamblés.*

Metalizado. Muchos metales en forma de alambres son atomizados o vaporizados en cámaras al vacío formando una capa del metal en la superficie en que se va a depositar, dejando un acabado duro y brillante. Debido a que la unión del metal vaporizado y el material asociado es enteramente mecánica, es importante que la superficie de éste último esté convenientemente preparada antes de ser procesado.

Limpiándose con algodón y posteriormente montadas en los racks, las piezas antes de ser montadas dentro de la cámara metalizadora, son sopleteadas con aire desionizado, para evitar contaminaciones del material contra polvo o cualquier otra sustancia que se encuentre en el medio ambiente. Se colocan pequeñas pastillas de material de aporte, de 0.5 a 1 gr de Fluoruro de magnesio y pequeños trozos de alambre de Aluminio, en las resistencias de la metalizadora, accionándose la máquina para ser metalizadas. Haciendo pasar a través de un arco eléctrico un gas (nitrógeno, argón o hidrógeno), ocasionando que éste se ionice elevando su temperatura arriba de 16 649°C. El material que se va atomizar se introduce en esta corriente de gas, se funde y es transportada hacia el objeto que va a recubrir. Otro medio, es vaporizando el metal de aporte en una cámara giratoria al vacío, siendo los más comunes los reflectores para las unidades de iluminación, ya sean materiales plásticos o metálicos. Por el acabado y funcionamiento de éstos, se han desarrollado los tipos del proceso

de acuerdo lo requieran las necesidades del cliente. En el caso de los reflectores tenemos dos variantes de este paso.: 1) Los reflectores pasan directamente a pegamentos, y; 2) Los reflectores con laqueado ámbar o transparente, se envían al departamento de pintura para la aplicación de laca, que es una protección extra al metalizado, se hornean después del laqueado y se dejan enfriar para curar la laca.

Pegamentos. Las piezas al llegar al departamento son inspeccionadas, los cristales que llegan para se pegados a los reflectores, se lavan para eliminar grasa u otro tipo de impurezas, después se hornean para secarlos, se inspeccionan y envían a el área de pegado. Los reflectores metálicos por lo general son fresados en el borde con la finalidad de asegurar una buena adherencia del cristal, también generalmente se ensambla el portafoco y se remacha, después de esto se envía al área de pegado. A los reflectores de plástico por lo general, se les ensambla y remacha el portafoco. Algunos llevan difusor el cual también es ensamblado antes de el pegado de cristal. Una vez que el reflector esta listo, se aplica un cordón de adhesivo en todo el borde exterior, este cordón debe de ser uniforme, se pega el cristal al reflector, se colocan los reflectores en racks, y se deja curar el adhesivo por lo general 24 horas, después se inspecciona las piezas, y se envían a la línea de ensamble.

Ensamblados. Con ayuda de dispositivos neumáticos, bases de sujeción a base de resinas, máquinas de uniones a base de técnicas por ultrasonido, selladores y adhesivos, soldadoras y herramientas especiales, se realizan la mayoría de los ensamblados. A continuación se mencionan algunos de los ensamblados más representativos.

Ensamble de Faros. Al llegar los reflectores con cristal (insertos) a la línea de ensamble, se revisa primero la hermeticidad a base de una columna Solex al vacío, después se coloca el foco o el sub-ens portafoco con foco al inserto, se prueba el funcionamiento y el ángulo de haz de luz del faro especificado. Los faros generalmente llevan un subensamble arillo, los cuales son ensamblados en la línea y después se ensamblan al subensamble inserto. Algunos faros también llevan una carcaza que los cubre, esta se pone después de la prueba de haz de luz, al final los faros se revisan y son enviados a el departamento de auditoría final.

Ensamble de Luces y Calaveras. Al llegar el material a la línea se revisa, la primera operación por lo general, consiste en ensamblar las micas a la carcaza, este ensamble puede ser por lo general atornillado o soldado por espejos o ultrasonido, en algunas se prueba la hermeticidad, se ensamblan los empaques a la pieza, se ensambla el porta foco con el foco a la pieza, el portafoco puede ser comprado o puede ser armado en la línea. Después de ensamblar el portafoco, se prueba el funcionamiento, se pule la mica en algunos casos, se inspecciona y empaqa, se envían las piezas a el departamento de auditoría final.

Ensamble de Espejos. Todos los materiales al llegar a esta área se revisan, en esta zona se tienen dos áreas donde se realizan dos sub-ensambles antes de ser enviados a las líneas de ensamble final, estos sub-ensambles son:

1.- Sub-Ensamble Chicotes: La funda metálica es cortada a una longitud específica, después se esmerila un extremo, se mide y corta nuevamente la funda, se esmerila el extremo que falta, se compara la funda contra un master para determinar si es una pieza buena. El

cable se corta a una longitud aproximada, se coloca un barril en un extremo, y se remacha. Con la funda lista, se le ensambla el cable con barril, se coloca el segundo barril al cable, se coloca en el dispositivo de remachado, y se remacha, después se mide la longitud de el subensamble chicote con barriles, si la pieza es buena se envia a la línea de ensamble.

2.- Sub-Ensamble Cristal: La hoja de cristal al llegar a la línea se revisa que no presente defectos que provoquen el rechazo de las piezas cortadas posteriormente, se corta la hoja en tiras, estas se colocan en la maquina cortadora, después del corte, una operaria desprende las piezas de la tira de cristal, estas piezas se biselan de el contorno para matar los filos que deja el corte, se limpia e inspeccionan las piezas, se les pega una cinta adhesiva en la parte posterior, se inspecciona y se envia a las líneas de ensamble.

En las líneas de ensamble armas tres tipos básicos de espejo, que son los siguientes:

1.- Espejos eléctricos: los pasos generales en el ensamble de este espejo son los siguientes, colocación de birlos a la carcaza, ensamble de soporte a la carcaza, ensamble del motor al portaespejo, el ensamble del motor al arnés, ensamble del portaespejo a la carcaza, la revisión de los grados que da el espejo, pegar el cristal, limpiar el espejo, la inspección y el empaque.

2.- Espejos fijos; Los pasos generales en este espejo son los siguientes, colocar birlos a la carcaza, ensamblar el soporte a la carcaza, ensamble de la rotula a el soporte, ensamble del portaespejo a la rotula, pegar cristal, limpieza del espejo, inspección final y empaque.

3.- Espejos de Control mecánico: Los pasos generales en este espejo son los siguientes, colocar birlos a la carcaza, ensamblar el soporte a la carcaza, se ensambla el s/e rotula con chicotes en la línea y se ensambla a el soporte, se ensambla el porta espejo a la rotula, se pega el cristal al portaespejo, se revisan los grados del espejo, se limpian las piezas, se inspeccionan y empaacan. Todos los productos finales de esta línea se envían a el área de auditoría final.

Ensamble de Bocinas y Claxons. Todas las piezas que llegan a esta área se revisan, las bocinas y claxons tiene una serie de pasos comunes que son los siguientes, remachado de perno a el casco, armar el s/e casco, probar la continuidad eléctrica, ensamble de la membrana y el ancla, ensamble de la membrana al s/e casco.

La bocina tiene las siguientes operaciones después de las anteriores, ensamble de una segunda membrana, ensamblar el caracol, ensamblar el soporte, pegar el carcacol al casco.

Después de estos pasos las bocinas y los claxons son sometidas a prueba para determinar si el tono emitido por ellas es el correcto, se realiza una inspección y se envían a el área de auditoría final.

*Auditoría Final y Empaque.*

Después de salir de las líneas de ensamble, los productos llegan a el área de auditoría final, aquí el departamento de calidad realiza la ultima inspección del producto, esto se realiza por medio de un muestreo por lotes, una vez aprobado el producto, se envía al departamento de empaque, se empaaca y se llena una forma de salida, para poder entregarlos a el almacén de producto terminado.

#### **4. APLICACION Y DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACION**

#### 4.1. Planteamiento del problema.

Siendo el principal problema el espacio, la dirección propuso implementar nuevas áreas productivas a costa de bajar los inventarios, tanto de materia prima, material en proceso y productos terminados. Al encontrarse en dicha situación, se propuso reducir el área del departamento de Auditoría Final para incrementar más áreas productivas, ver Figura 4.1 Lay Out de la Planta Electro Optica S.A.

Con este fin, se propuso que se cambiará la actual área de Auditoría Final, Figura 4.2, a la mitad del espacio del almacén de Plástico Molido, 180 m<sup>2</sup> (ver Figura 4.3 Lay Out Parcial de los Almacenes).

Como el área actual utilizada es de 216 m<sup>2</sup>, los departamentos involucrados no se vieron muy confiados ante las propuestas de los directivos de la empresa, ya que el área contemplada es más pequeña que la que se tiene actualmente, por lo que se pidió se profundizará en el estudio de la modificación del área, así como de las repercusiones en el manejo y flujo de materiales.

Haciendo referencia al título de este estudio, desarrollo de un modelo de simulación para la evaluación de la toma de decisiones en la modificación del area de Auditoría Final, dentro de un sistema productivo de la industria autopartes, y partiendo de las condiciones actuales de trabajo, la meta será mejorar la rentabilidad de la empresa, reduciendo los stocks y mejororando el flujo de materiales del producto terminado hacia el area de Auditoría Final de Calidad, amén de reducir el espacio de auditoria. A continuación describiremos el flujo de materiales entre los departamentos involucrados, analizando y estudiando las características esenciales para poder limitar el desarrollo del proceso de simulación.

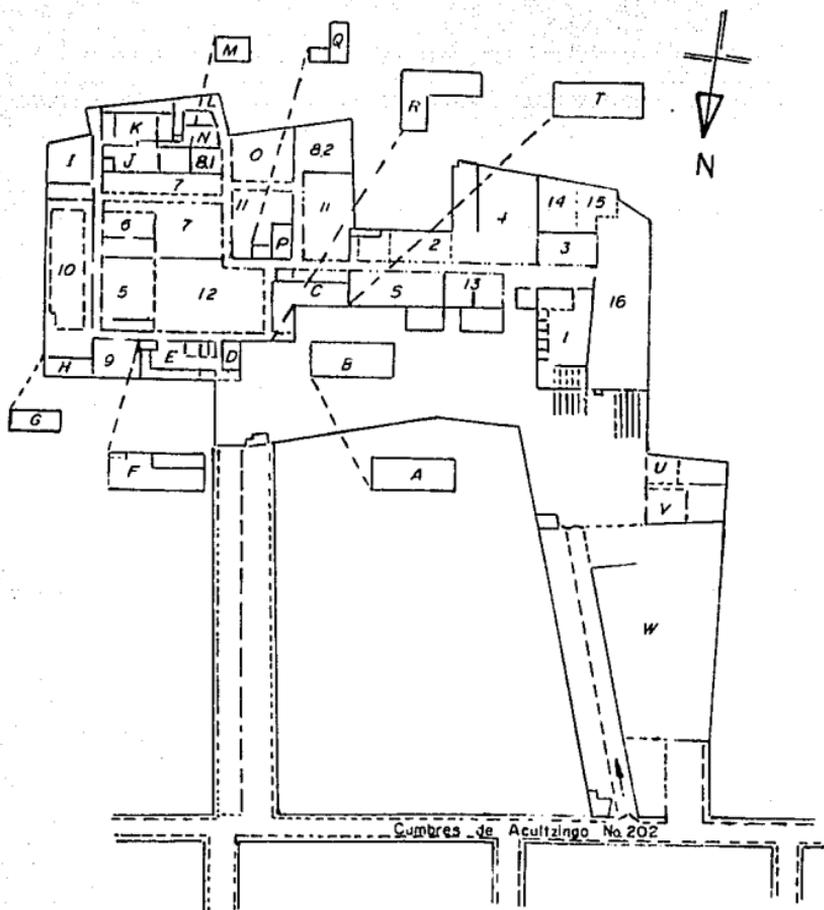


FIGURA 4.1 PLANTA ELECTRO OPTICA S.A.  
(ESCALA 1: 2000)

## E L E C T R O   O P T I C A   S . A .

CENTROS GENERALES AUXILIARES.

- A. DIRECCION GENERAL
- B. OFICINAS ADMINISTRATIVAS
- C. OFICINAS PRODUCCION
- D. OFICINAS PERSONAL
- E. ALMACEN MANTENIMIENTO
- F. VESTIDORES
- G. LABORATORIO GALVANOPLASTIA
- H. BODEGA QUIMICOS
- I. TALLER MANTENIMIENTO
- J. CALDERAS
- K. COMEDOR
- L. MOLINO PLASTICOS
- M. OFICINAS PLASTICOS
- N. ALMACEN HERRAMIENTAS MOLDES
- O. TALLER MECANICO
- P. OFICINAS MONTAJES
- Q. LABORATORIO INGENIERIA
- R. OFICINAS INGENIERIA
- S. LABORATORIO CALIDAD
- T. OFICINAS CALIDAD
- U. CARPINTERIA
- V. TALLER AUTOMOTRIZ
- W. ESTACIONAMIENTO

PRINCIPALES CENTROS DE FABRICACION

- 1. RECIBO DE MATERIAL
- 2. ALMACEN MATERIA PRIMA
- 3. ALMACEN PLASTICO MOLIDO
- 4. ALMACEN PARTES
- 5. TROQUELADOS
- 6. ZAMAC
- 7. PLASTICOS
- 8.1. LAQUEADO
- 8.2. PINTURA
- 9. PULIDO
- 10. GALVANOPLASTIA
- 11. MONTAJE 1
- 12. MONTAJE 2
- 13. AUDITORIA FINAL
- 14. ALMACEN DE EMPAQUES
- 15. AREA DE EMPAQUES
- 16. ALMACEN PRODUCTO TERMINADO

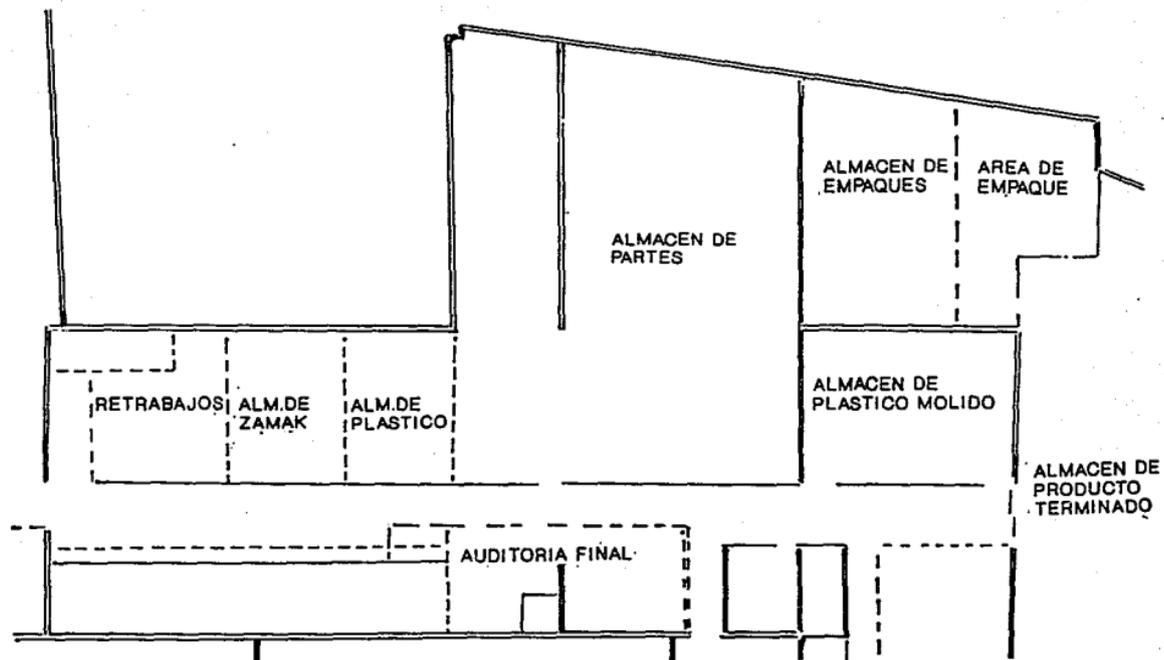


FIGURA 4.2 LAYOUT PARCIAL, AREA ALMACENES.

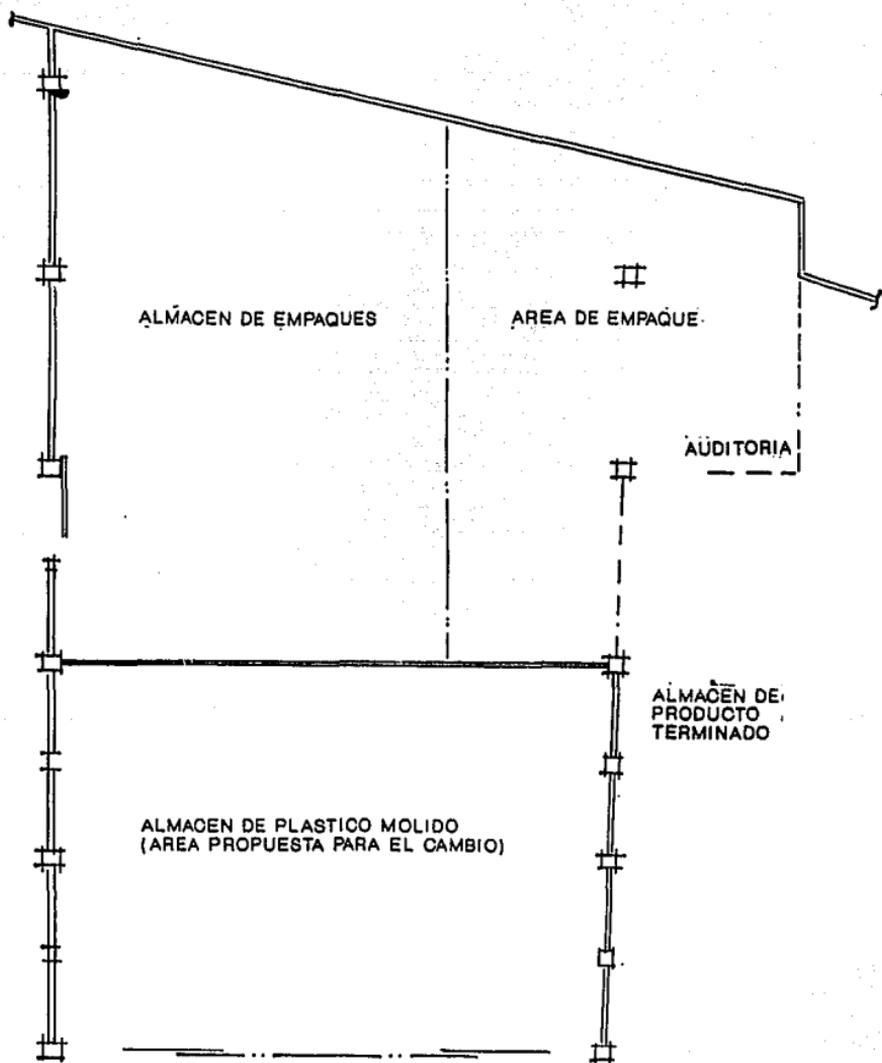


FIGURA 4.3. LAYOUT PARCIAL, AREA ACTUAL.

### *Situación general del manejo de materiales.*

El sistema actual de manejo de materiales depende básicamente de transportadores manuales, dos montacargas y dos carros eléctricos adaptados con plataformas para el acarreo de materiales. Las siguientes líneas describen los elementos más críticos del manejo de materiales.

Transportadores manuales. Los transportadores manuales mueven la mayor parte de materiales de los almacenes a las áreas productivas de la planta sin embargo, presentan serias desventajas de uso. Primeramente, son extremadamente ineficientes, la carga es demasiado pequeña, necesitando demasiados viajes para llevar material de un lado a otro, empeorando esta condición al ser cargadas parcialmente y con frecuencia vacías, el 38% de todos los transportadores manuales van de las áreas de fabricación al almacén o del almacén a las áreas de fabricación sin carga. En segundo término dañan el buen acarreo existente, ya que se tienen dificultad de maniobrar con los desniveles, rampas y esquinas de la fábrica. De esta manera, los materiales son frecuentemente tirados y dañados. Y, por último, son ruidosas y distraen a otros trabajadores de la planta.

El sistema actual utiliza solamente un montacargas asignado para transportar material al departamento de Troquelado. Como el montacargas no es empleado con certeza, se dificulta frecuentemente el alojamiento del montacargas para depositar el material en las zonas de entrada, además de tardar en las maniobras de carga y descarga de materiales estorba y bloquea pasillos principales. Existen montacargas adicionales dentro de la planta, pero están asignados exclusivamente al almacén de materias primas.

Almacén. El personal del almacén actualmente tiene la responsabilidad de mover productos del almacén a las líneas de producción. Ellos mueven material de las áreas de fabricación al almacén sólo en situaciones de emergencia. Consecuentemente el personal encargado de abastecer el material son responsables de mover el producto terminado y producto de proceso dentro de las áreas del almacén.

Carros eléctricos adaptados. La firma recientemente implementó, para ser usados en el manejo de material interno, dos carros eléctricos de un campo de golf. Un remolque provisional de transporte esta agregado a uno de los carros. La dirección cree que el factor de experimentar con los carros provee facilidad en su uso. pero, estos carros, al no contar con aditamentos especiales para su manejo interno dentro de la planta, produce molestias en cuanto a la maniobrabilidad dentro de la misma provocando conglomeraciones con los transportadores manuales que se encuentran en los pasillos así como entorpecimiento en el abastecimiento de productos de tamaño mediano.

Contenedores. Los contenedores son un componente integral del sistema de manejo de materiales. Actualmente la planta utiliza una gran variedad de contenedores, incluyendo, los que no están especificados por Ingeniería de Empaque o normas que indiquen como manejar internamente el material. En este caso particular se utilizan cajas de cartón, cajas de madera, contenedores metálicos y contenedores plásticos, de varios tamaños. La variedad de contenedores no estandarizados complica los movimientos y el almacenaje.

Turno. Los activadores de material transportan los productos terminados solo hasta terminar el turno, lo que se produce despues, no es transportado al area de auditoria final, provocando un gran acumulamiento de piezas terminadas al final de cada área de salida de

producto terminado por línea, los cuales son movidos en el transcurso de la mañana siguiente, una vez que ya fueron liberados por calidad.

*Actividades desarrolladas dentro del Area de Auditoría Final.*

A continuación se describen las actividades desarrolladas en el departamento Auditoría Final por los supervisores de calidad.

- 1.- Revisión física al 100% de todos los productos terminados elaborados en la planta, así como de partes intercompañías.
- 2.- Realizar reportes diarios de producción y rechazos.
- 3.- Elaborar comprobantes diarios de producto terminado (de área de empaque a zona de almacén de producto terminado).
- 4.- Actualizar archivos de planos para identificar los 'items' de control.
- 5.- Control de archivo de listas de partes y actualización de estas en productos terminados.
- 6.- Control de archivos de características de pruebas (instructivos de inspección).
- 7.- Archivo de producto terminado a cliente.

*Condiciones de trabajo actuales en Auditoría de Calidad.*

- 1.- La activación de material hacia el área de auditoría se realiza después de las 10:00 hrs. a.m. aproximadamente.
- 2.- Aproximadamente un 20% de la producción diaria se traslada al área de inspección de auditoría final antes de la 1:00 hrs. p.m. y el resto (80%) se activa después de dicha hora hasta las 5:00 hrs. p.m.
- 3.- La hora de comida de los activadores es de 12:30 p.m. a 1:00 p.m., por lo que dejan de activar material a la zona de auditoría final.

- 4.- Aproximadamente se comienzan a liberar los productos de las líneas de ensamble a las 12:00 hrs.
- 5.- Al remolque del carro eléctrico que utilizan para activar material se estiban 36 cajas de plástico acomodadas en 6 camas de 6 cajas cada una, pero no siempre va completa.
- 6.- Se tiene problemas en el diseño del remolque ya que al dar vuelta con esta capacidad hay mas probabilidad de que caigan las piezas al suelo. El radio de vuelta para el carro con el remolque es de 4 m., aproximadamente el ancho del pasillo central de almacenes.
- 7.- Se pierde maniobrabilidad en el manejo de materiales con el remolque al pasar por desniveles y áreas muy reducidas.
- 8.- Ademas del carro eléctrico se utilizan tortugas y montacargas para trasladar el material desde las líneas de ensamble a dichas áreas.
- 9.- El material se deja en los pasillos ya que el área actual, y por los desniveles que se tienen, es difícil maniobrar la carga hacia la zona de inspección.
- 10.- Se realiza una revisión de 32 muestras por un lote de 50 pzs. independientemente del tipo de material que llegue a auditoría, por lo general nunca se respeta esta norma, por lo que prácticamente los productos se manejan a granel revisandose al 100%.
- 11.- Con una pieza que sea rechazada, se rechaza todo el lote completo. Lo que da como consecuencia ser mandado al área de retrabajo o ser retrabajado en la misma zona de auditoría.
- 12.- El área de rechazo prácticamente no se encuentra definida. Tampoco así las áreas de entrada ni de salida por lo que se tiene invadida toda la zona de Auditoría y pasillos vecinos.

- 13.- Cuando el material rechazado es demasiado se revisa y selecciona el material en la zona de Auditoría tardandose hasta un turno completo antes de pasarlo al Departamento de Empaques.
- 14.- No se lleva un control real del material retrabajado en dicha área. Si se tiene personal para activar el material rechazado se regresa a las áreas de recuperación en las líneas de montaje.

#### 4.2. Análisis de la situación.

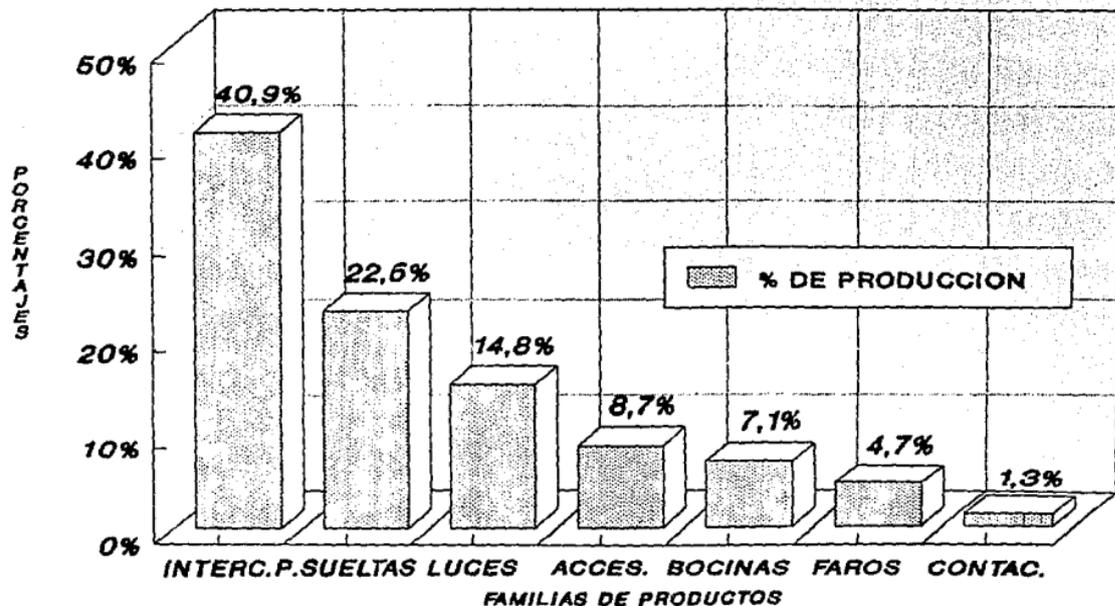
##### *Adquisición de datos.*

Teniendo en cuenta el Informe diario de Producción y Rechazos así como el Reporte diario de Producción del Departamento de Empaques, al primer trimestre del año de 1991 elaborados por Auditoría Final de Calidad (ver anexos A.1 y A.2). Realizando un resumen de los porcentajes de las cantidades reportadas de productos terminados, así como de los porcentajes del total de posiciones aceptadas contra rechazadas, distribuyendolas por embarques a los clientes como partes para exportación, partes originales, partes para comercialización interna y partes para refacciones o varios.

De la gráfica de porcentaje de producción promedio diaria por Familia de artículos, Gráfica 4.1, tenemos que entre la familia de Faros (4.7%) y la familia de Luces y calaveras (14.8%), se producen en un 19.5% del porcentaje de la producción total diaria aproximada. El resto de la producción, el 88.1%, aproximadamente, se distribuye entre las demás familias de artículos como sigue: piezas intercompañías (40.9%); piezas sueltas (22.5%); accesorios (8.7%); claxons y bocinas (7.1%); y, contactores (1.3%).

GRAFICA 4.1

PORCENTAJE DE PRODUCCION  
DIARIA POR FAMILIA



De acuerdo a los resúmenes de producción

Ahora bien, si comparamos el porcentaje de espacio requerido en la zona de Auditoría Final, Gráfica 4.2, las Familias de Faros (21.8%) y la Familia de Luces y calaveras (66.3%), observamos que estas dos familias representan el 88.1% del area total ocupada en Auditoría Final, suponiendo que se encuentren todos los artículos producidos del día, en el mismo instante en el area de Auditoría Final, y que hallan sido trasladados en contenedores completos.

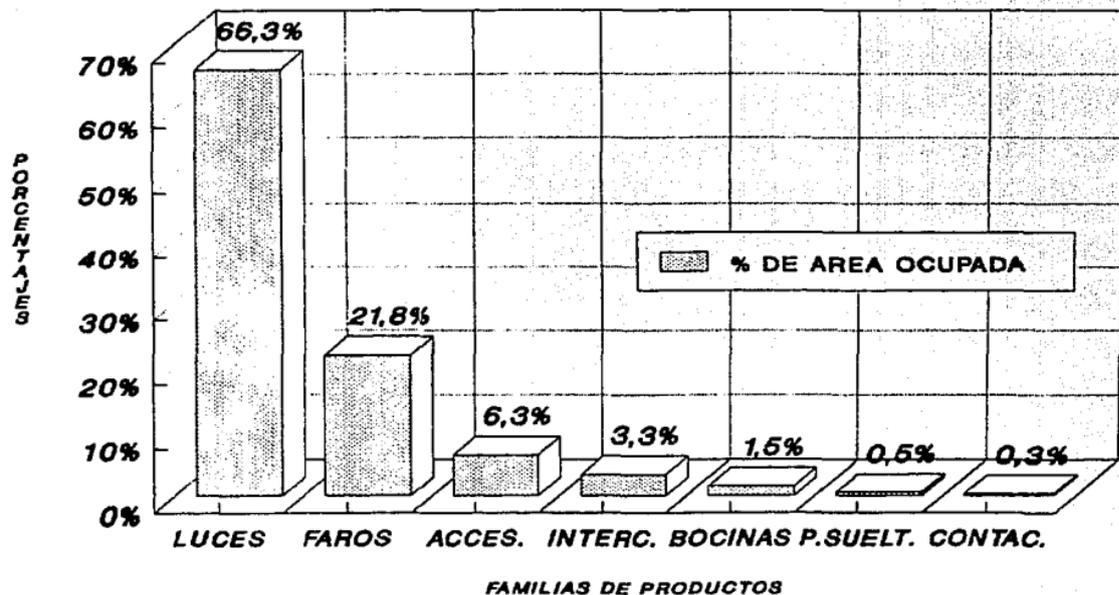
De este análisis, hemos encontrado que las Familias más críticas son la Familia de Faros y la Familia de Luces y calaveras, ya que, aproximadamente, el 20% del total artículos producidos en promedio por día, estas familias representan el 80% total del area ocupada en la zona de Auditoría Final. Estas Familias de artículos las consideraremos como de gran importancia para planificar el algoritmo de simulación con el cual trabajaremos posteriormente.

De la Tabla 4.1, tenemos que del total de las posiciones (lotes) de producción inspeccionadas, un 93.8% de las posiciones es aceptado por Auditoría Final, y el resto, 6.2%, es rechazado. Esto, en promedio, nos habla de un área de 23.5 m<sup>2</sup> ocupados por materiales rechazados, asumiendo que el porcentaje de material rechazado, sea el mismo para todas las familias de artículos.

De acuerdo a la forma actual de selección e inspección el 6.2% de rechazo representa una pérdida de tiempo de 5 a 6 hrs aproximadamente de un turno para los auditores, así como la utilización del 10% del área de auditoría ya que en dicha zona se reseleccionan las partes rechazadas ocasionando problemas con el manejo de materiales que están llegando al área además de que el personal de auditoría sale en promedio entre las 9 a las 10 hrs.p.m., aproximadamente.

GRAFICA 4.2

**PORCENTAJE DE AREA UTILIZADA POR FAMILIA  
(AUDITORIA FINAL)**



De acuerdo a los resúmenes de producción  
y al tipo de contenedores utilizados.

**RESUMEN EN PORCENTAJES DEL INFORME DIARIO DE PRODUCCION Y RECHAZOS:**

| P O S I C I O N E S |            | TOTAL DE   | D I S T R I B U C I O N |          |           |        |
|---------------------|------------|------------|-------------------------|----------|-----------|--------|
| Aceptadas           | Rechazadas | POSICIONES | Export.                 | Original | Comercial | Varios |
| 93.8%               | 6.2%       | 188.8%     | 7.2%                    | 67.9%    | 15.2%     | 3.4%   |

**RESUMEN EN PORCENTAJE DE LA PRODUCCION PROMEDIO POR FAMILIA:**

| FAROS | LUCES Y<br>CALAUERAS | CLAXONS Y<br>BOCINAS | PIEZAS<br>INTERC. | ACCESORIOS | PIEZAS<br>SUELT. | CONTACT. | TOTAL  |
|-------|----------------------|----------------------|-------------------|------------|------------------|----------|--------|
| 4.7%  | 14.8%                | 7.1%                 | 48.9%             | 8.7%       | 22.5%            | 1.3%     | 188.8% |

**PRODUCCION DIARIA PROMEDIO SIN CONSIDERAR RECHAZOS:**

| FAROS | LUCES Y<br>CALAUERAS | CLAXONS Y<br>BOCINAS | PIEZAS<br>INTERC. | ACCESORIOS | PIEZAS<br>SUELT. | CONTACT. | TOTAL |
|-------|----------------------|----------------------|-------------------|------------|------------------|----------|-------|
| 2857  | 8985                 | 4279                 | 24889             | 5265       | 13656            | 795      | 68646 |

T A B L A 4 - 1

De la Tabla 4.2, se puede observar que el área ocupada por la producción diaria promedio en auditoría final es de 232.6 m<sup>2</sup>, considerando que todo el material producido en un día se encuentre en el área de Auditoría Final. Esta área ocupada rebasa el total del área actual de auditoría final, 216 m<sup>2</sup>, si tomamos en cuenta los cubículos de calidad, 32 m<sup>2</sup>, implicara una invasión de productos al pasillo principal de almacenes de 48.6 m<sup>2</sup>. Lo que dificulta el acceso al área de Auditoría Final.

#### 4.3. Planeación y desarrollo del Modelo de Simulación.

En base a las condiciones descritas previamente de la situación actual de trabajo, daremos los siguientes pasos a fin de realizar el estudio de simulación, estructurando el análisis y delimitando el problema, así como identificando y especificando los datos y las variables a controlar para la elaboración del diseño del algoritmo.

Definición de datos y variables a contemplar dentro del programa de simulación.

Área actual: 216 m<sup>2</sup>; No. de inspectores : 2.

En base a la Tabla 4.2, estableceremos los cálculos del área por familia, a condición de piezas por contenedor, número de contenedores utilizados por producción diaria promedio y área por contenedor. Para los casos de las familias de faros, luces y contactores, las áreas por contenedor se calcularán en base al área ocupada; y para las demás, se calcularán las áreas en base a la capacidad de transporte del carro eléctrico, 36 contenedores para las familias de claxon y bocinas, accesorios y piezas sueltas; y 6 contenedores para la familia de piezas intercompañías por viaje.

RELACION DE AREA OCUPADA POR PRODUCCION DIARIA PROMEDIO EN AUDITORIA FINAL:

| DESCRIPCION<br>FAMILIA | TIPO DE<br>CONTEN. | M E D I D A S |      |     |         |     | PES. POR CONTEN.<br>POR TAR. | PROD.<br>APROX.<br>DIARIA | NO. CONT.<br>FOR PROD<br>DIARIA | CANT.<br>CONT.<br>DIA. | AREA<br>APROX.<br>DIA. | FORC.<br>(%) |
|------------------------|--------------------|---------------|------|-----|---------|-----|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
|                        |                    | LARGO         | ANCH | ALT | CONTEN. |     |                              |                           |                                 |                        |                        |              |
| FAROS                  | RACK FLAS.         | 90            | 80   | 80  | 36      | N/A | 2857                         | 79                        | N/A                             | 50.79                  | 21.8%                  |              |
| LUCES V CALAU.         | RACK MET.          | 183           | 120  | 84  | 72      | N/A | 8985                         | 125                       | N/A                             | 154.24                 | 66.3%                  |              |
| CLAXON V BOC.          | CAJA FLAS.         | 59            | 48   | 30  | 40      | 1   | 4279                         | 107                       | 36                              | 3.57                   | 1.5%                   |              |
| PZS. INTER.            | CAJA CART.         | 30            | 69   | 69  | 640     | 1   | 24809                        | 38                        | 6                               | 7.66                   | 3.3%                   |              |
| ACCESORIOS             | CAJA FLAS.         | 58            | 48   | 30  | 12      | 1   | 5262                         | 439                       | 36                              | 14.63                  | 6.3%                   |              |
| PZS. SUELTAS           | CAJA FLAS.         | 58            | 48   | 30  | 400     | 1   | 13656                        | 34                        | 36                              | 1.14                   | 0.5%                   |              |
| CONTACTORES            | CAJA FLAS.         | 58            | 48   | 30  | 648     | 1   | 756                          | 2                         | N/A                             | 0.60                   | 0.3%                   |              |

AREA TOTAL (MS) = 232.62 100.0%

NOTA: El area incluye zona de rechazo.  
N/A: No aplica.

TABLA 4-3

1.- Probabilidad de hora de llegada del producto. Teniendo en cuenta el comportamiento de los abastecedores de producción, condicionaremos el programa para que el 20% del total de los productos lleguen antes de las 13:00 pm, ya que los inspectores de las líneas comienzan a liberar material después de esta hora, además de que el horario de comida de los abastecedores es de 12:30 pm a las 13:00 pm. y el resto de los productos terminados, 80%, sean transportados de las 13:00 pm hasta terminar el turno normal de trabajo de los abastecedores, 17:00 pm. Esta condición se hace extensiva a todas las familias de los productos manufacturados en esta planta.

2.- Probabilidad de cuantos productos llegan. En consecuencia del punto anterior y al no haber un programa el cual indique que familias de productos serán enviados al área de Auditoría Final en un momento determinado, estos serán calculados aleatoriamente.

3.- Probabilidad de cual producto llega. A raíz del primer punto, también se calcularán aleatoriamente cuales productos llegan de las diferentes familias.

4.- Probabilidad de cuanto llega de cada producto. Considerando el criterio del primer punto y a la aleatoriedad del comportamiento del flujo de materiales enviados al área de auditoría Final, observamos que del 100% de producción recibida en esta área, un 20% del total de las cantidades recibidas, llega entre las 8:00 am y las 12:00 pm del día y el resto, 80% del total de la producción, llega entre las 13:00 pm y las 17:00 pm del día. Esta condición es aplicable para cada una de las diferentes familias.

5.- Lista de espera de productos a ser inspeccionados. Considerando que todos los productos serán inspeccionados dentro del área de Auditoría Final, conforme van llegando se irán formando para ser

inspeccionados y, aunque sean rechazados posteriormente después de la inspección, dejarán la zona de auditoría para ser trasladados a el área de empaque o en su caso a zonas de cuarentena. Los inspectores tienen la capacidad de inspeccionar, de acuerdo a la hoja resúmenes, el total del promedio de la producción diaria considerando los rechazos.

6.- Tiempo de inspección en Auditoría Final. En base al reporte diario de producción salido del departamento de embarques, el promedio diario de producción es de 60646 piezas diarias en un turno de 8 horas, descontando la hora de comida de los inspectores, de 1.30 pm a 2:30 pm. Por hora se tendrán que inspeccionar 7580 piezas entre dos auditores, o 3790 pzs. por cada media hora, Esta consideración es independiente del tipo de familia que se vaya a inspeccionar y del método de inspección utilizado. Este dato solo servirá de referencia para calcular el area que se ocupa mientras esperan los productos a ser liberados del área de inspección por cada familia.

#### *4.4. Codificación, ejecución y análisis de resultados.*

Traducción del modelo, verificación y validación. Implementando el algoritmo en un código escrito en un lenguaje de programación, se reflejan las ideas desarrolladas en las fases de análisis y diseño. Dado que el diseño del algoritmo es independiente del lenguaje de programación utilizado para su implementación, el código puede ser escrito con igual facilidad en un lenguaje o en otro. Tomando en cuenta lo anterior se escogió el lenguaje QuickBasic de programación moderna, ya que contiene las mejores características de los lenguajes Basic, Fortran y Pascal.

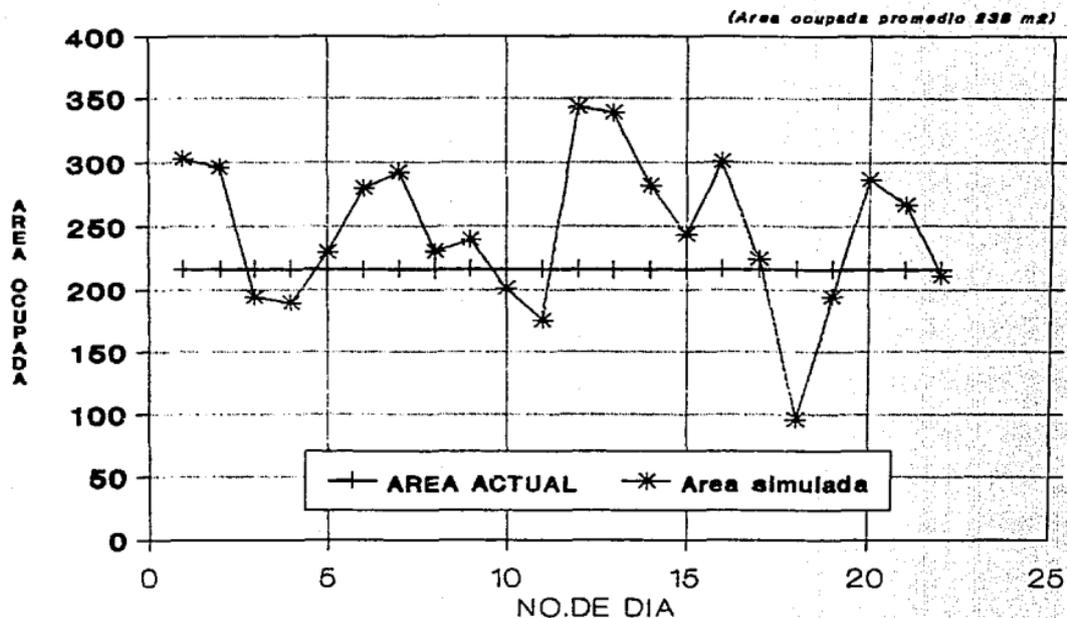
Una vez que el algoritmo se ha convertido en un programa fuente, es preciso traducir y ejecutar, compilar y ejecutar, el programa. Verificando y depurando el programa en busca de errores de las etapas anteriores se eliminan y corrigen estos para buscar el objetivo determinado de procesar la información y obtener los resultados en función de los datos de entrada.

Observando el Anexo B.1, se puede ver el programa depurado de simulación del funcionamiento actual del proceso de Auditoría Final, en función del tiempo de inspección, tiempo de espera y áreas ocupadas. Teniendo en cuenta que el programa se basa en los datos de los tres primeros meses del año, ver Anexo A.1 y A.2, y al hacer una corrida, vemos que el promedio por mes obtenido del total del área ocupada es de 238 m<sup>2</sup>, siendo prácticamente la misma área, 6 m<sup>2</sup> más únicamente, que se presenta en el reporte de resúmenes de producción, ver Gráfica 4.2, área que excede a la actual de auditoría y, por consecuencia, se invade el área de los pasillos que comunican a los almacenes. Además de esto, se puede ver también que la hora de salida de los inspectores de calidad de auditoría final en promedio fue a las 9:35 hrs. de la noche, lo cual también concuerda con las observaciones realizadas anteriormente. La hora crítica en la cual hay más productos en el área es a las 15:32 pm. de la tarde, ya que es la hora en la cual comienzan a inspeccionar nuevamente los auditores regresando de su hora de comida.

Si observamos detenidamente la Figura 4.4, de las corridas simuladas, encontramos una gran variación del comportamiento en la forma en que se van ocupando las áreas de auditoría final. Estas variaciones demuestran la inestabilidad del flujo de materiales hacia el área de

Figura 4.4

## SIMULADOR DE PRODUCCION AREA DE AUDITORIA FINAL



Simula la producción considerando  
una área de 218 m<sup>2</sup> y 2 inspectores.

auditoría final, ya que no existe un patrón o programa que rija un flujo constante hacia el área citada.

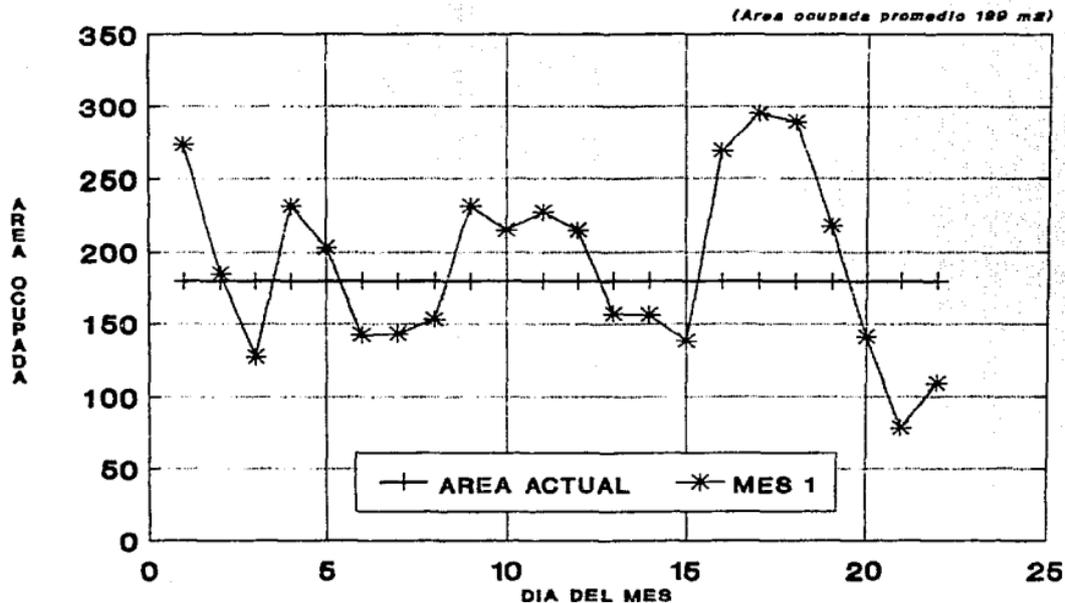
Si suponemos que el cuello de botella se debe al número de inspectores en el área, podemos imaginar que se pueda solucionar si aumentamos el número de auditores. Veamos lo que pasa si variamos a 4 inspectores el número de auditores. (ver Número de auditor en el programa del simulador, Anexo B.1)

La Figura 4.5 nos muestra la simulación corrida a condición de 4 inspectores. Podemos observar, primeramente, que el área solo se redujo a 199 m<sup>2</sup> en promedio de los tres meses corridos, lo que representa un 92% del área actual, pero si suponemos que el área medirá 180 m<sup>2</sup>, todavía es insuficiente por 19 m<sup>2</sup>, 10% más con respecto al área propuesta. En lo que respecta a la hora de salida de los inspectores, estos saldrían a las 18:10 pm en promedio, lo que significa una ganancia del 64% con respecto del tiempo del proceso anterior. La hora crítica baja media hora, a 14:38 pm de la tarde, lo cual sigue en base a la hora de comida de los inspectores. En cuanto al flujo de material que es enviado al área de auditoría se puede observar que sigue con la misma tendencia de variación en la llegada de los productos al área de auditoría.

Por consecuencia, si suponemos que los materiales fluyen al área de auditoría regularmente, de tal manera que siempre tenga un flujo constante desde que comienza el turno de producción, se podrían mejorar los resultados. Teniendo en cuenta esto, también podemos suponer que el número de inspectores se puede reducir otra vez a dos, ya que prácticamente estarían ocupados al 100% de su turno normal

Figura 4.5

## SIMULADOR DE PRODUCCION AREA DE AUDITORIA FINAL



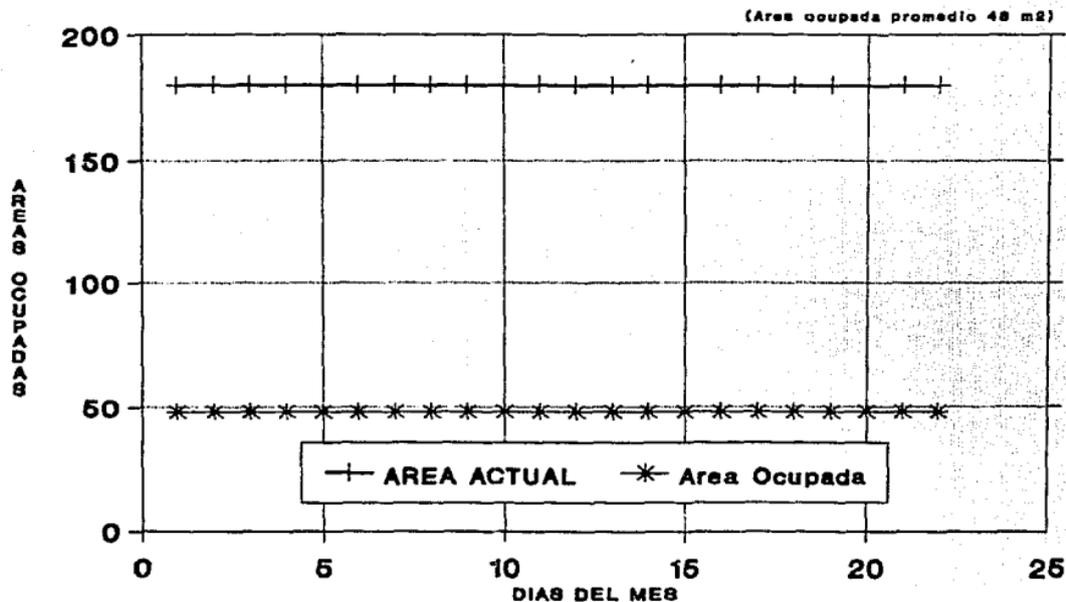
Simula el área ocupada por la producción  
a condición de una área de 180 m<sup>2</sup>  
y 4 inspectores para auditar.

trabajo. (ver número de auditor y 'swich' de programa de simulación del Anexo B.1).

Simulando el estado ideal de flujo continuo de productos terminados hacia el área de auditoría final, ver Figura 4.6, observamos que el área máxima ocupada es de 48.04 m<sup>2</sup>, solo un 26% de los 180 m<sup>2</sup> del área propuesta, siendo la hora 'crítica' las 14:30 de la tarde, hora en que se ocupa el máximo de área calculado, que también es después de la hora de la comida de los inspectores. Además, la hora de salida sería a las 18:30 pm de la tarde, misma hora en la que terminan de inspeccionar los cuatro inspectores en la simulación anterior. Como se ve el flujo siempre es el mismo y el tiempo que llegaría al departamento de empaque se reduciría de las 21:35 a las 18:30 hrs, un 64% del tiempo actual.

Figura 4.8

## SIMULADOR DE PRODUCCION AREA DE AUDITORIA FINAL



*Simula el Area ocupada por la producción  
a condición de una Área de 180 m<sup>2</sup>, dos  
inspectores y con un flujo continuo.*

## 5. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

### 5.1 Principales Problemas Externos.

Como se observó en el capítulo anterior, los principales problemas encontrados en el análisis dentro del proceso de Auditoría Final, en gran medida corresponden a desacuerdos de criterios de calidad y al proceso de flujo de los materiales, reflejándose con ésto el comportamiento general de todo el Sistema Productivo, sin dejar de considerar el objetivo de este estudio, la modificación del área de Auditoría Final. Además de estas situaciones, habrá que considerar también factores externos que influyen en el comportamiento de la organización de la empresa, los cuales mencionamos a continuación:

- I. No hay una verdadera competencia en el mercado. Al monopolizarse la economía de la empresa en cuestión, vicia las relaciones de oferta y demanda, lo que crea una despreocupación por la calidad, y no tratan de mejorarla ya que no existe competencia.
- II. No hay motivación. El típico trabajador no desea hacer un trabajo bueno, no se interesa por la marca ni por las consecuencias derivadas de su actitud. Presentan actitudes de indiferencia ante la calidad y no se sienten responsables del desarrollo de la empresa. Se tienen pocas oportunidades de opinar, originando esa falta de motivación como consecuencia de hábitos de rutina monótonos.
- III. Los límites del sistema del control de calidad sólo comprenden desde la recepción de las materias primas, hasta la terminación del producto. La distribución, la conceptualización o el grado de satisfacción que el producto genera en el cliente así como su retroalimentación, no son

considerados como elementos integrantes del sistema de control de calidad.

IV. Organización inadecuada. Esta empresa presenta una organización inadecuada e ineficaz para poder alcanzar sus objetivos. La organización del sistema presenta descontrol debido a condiciones tales como:

a) Empresa Familiar. Las personas que son dueñas y que llevan el control total de la empresa actúan, como su nombre lo dice "una familia", interesándose solo por los ingresos que van a obtener por su producto. El control de la calidad es una fase por la cual no se preocupan, lo toman como algo secundario.

b) Administración Empírica. En su gran mayoría esta administrada empíricamente, las decisiones son el producto de experiencia acumulada durante años de trabajo con mayor o menor grado de éxito. Se dice que la experiencia es determinante para la dirección de un negocio, sin embargo, las actuales condiciones económicas y financieras de la mayoría de las empresas, las han obligado a realizar cambios y aplicar nuevas estrategias de disminución de costos (planeación, control, etc.).

c) Objetivos poco precisos. La falta de planes en el sistema de control de calidad, es un hecho. No tienen la suficiente proyección como para poder implantar en el futuro un programa de mejoramiento del manejo del producto, establecer una adecuada evaluación de los productos, proporcionar adiestramiento al personal, y adquirir el equipo necesario, etc. Esto provoca que decaiga su nivel de competitividad en el mercado.

d) Conformismo administrativo ante la baja calidad y baja productividad. La mala situación de la empresa en el mercado, y el

bajo rendimiento de ingresos que obtiene, desmotiva los intentos para desarrollar nuevas estrategias para incrementar la productividad hundiéndose simplemente en el conformismo.

e) Desconfianza de nuevos métodos alternativos. Los empresarios no quieren invertir en la introducción de nuevos métodos, y esto se debe principalmente a la ignorancia que tienen acerca de ellos, y muchas veces, cuando son aplicados, existe la impaciencia por obtener resultados a corto plazo.

f) Elevado índice de rotación de personal. Al verse obligadas algunas empresas a realizar contrataciones temporales debido a la demanda de su producto en determinada época del año, el constante cambio de personas que realizan un trabajo que admita en mayor o menor grado, algunas modificaciones en función del gusto personal del que lo realiza, corre el riesgo de abandonar los lineamientos del diseño, o bien, requiere de una constante tarea de capacitación elemental.

g) Elevado porcentaje de ausentismo. El ausentismo se debe principalmente a la falta de interés por parte del trabajador, el cual cataloga su trabajo como algo tedioso y rutinario.

h) Muy baja escolaridad. Esto provoca que el trabajador tenga un aprendizaje más lento que otros con mayor nivel de estudios; sin embargo, esto se puede solucionar con un adecuado adiestramiento del personal. En muchas ocasiones la persona con baja escolaridad presenta actitudes de indiferencia ante la calidad y en esta medida afecta a la empresa.

i) Escasa actualización. Con el exceso de proteccionismo a la industria local en el pasado, nos lleva a un atraso tanto tecnológico como económico. El actualizarse representa un gasto, el cual muchas de las empresas no pueden sufragar; esto ha provocado que continúen

utilizando métodos que son menos efectivos que los que se utilizan en grandes empresas. No es raro el encontrar revistas con grandes adelantos tecnológicos, nuevos métodos de control, etc., los cuales tienen como fin el incrementar la productividad y la calidad; esto debe ser aprovechado por la empresa, no sin antes haber hecho un estudio previo para ver si se puede aplicar.

j) Relaciones obrero-patronales inadecuadas. La relación empresa trabajador es a menudo de antagonismo, aunque hay muchos ejemplos que demuestran que lo contrario sería muy benéfico para la empresa, por lo que sería muy conveniente que tanto trabajadores como patrones busquen un mayor beneficio colectivo e individual.

k) Empresa descapitalizada. La descapitalización de la empresa hace que ésta no cuente con los recursos monetarios suficientes, como para tratar de incrementar la calidad de sus productos, ya que, el introducir nuevos métodos de inspección, nuevos programas y todo aquello que tenga el fin de mejorar la calidad total de la empresa, representa un gasto.

V. Falta de capacitación. La escasez de personal calificado a nivel técnico y obrero es uno de los problemas más fuertes a que se enfrenta la empresa. Generalmente el personal adquiere las habilidades y/o conocimientos sobre la marcha normal del trabajo; las gerencias dicen no disponer de tiempo para capacitar a su personal.

VI. Barreras a la exportación. La estrategia económica de proteccionismo, al prohibir importaciones de productos manufacturados, afecta el nivel competitivo de la industria nacional. La política de sustitución de importaciones tienen sus fundamentos válidos en términos de un fortalecimiento temporal de la industria para alcanzar niveles de

competitividad en el mercado internacional. De este punto se hablará más adelante.

Este tipo de empresas señalan algunas barreras (internas y externas) que les han impedido conquistar mercados internacionales; estas son las siguientes:

Barreras internas:

- a) Producción limitada
- b) Falta de personal técnico calificado
- c) Precio y costo de producción no competitivos
- d) Falta de experiencia en asuntos internacionales
- e) Falta de conciencia en el obrero
- f) Falta de capital para equipo

Barreras externas:

- a) Altos costos de la materia prima
- b) Mala calidad de las materias primas
- c) Burocracia en oficinas de gobierno
- d) Mercado nacional restringido

VII. Dependencia tecnológica. La falta de tecnología propia es uno de los grandes problemas que afronta no solo esta empresa, sino todo nuestro país; la importamos y lo que pasa es que no se obtienen los mismos resultados que los que se logran en su lugar de origen ya que nuestra situación es diferente. No se ha podido crear nuestra propia tecnología.

Con todo lo anterior, se puede observar un amplio panorama de todos los problemas a los que se enfrenta, no sólo esta empresa, sino a nivel nacional. El reto es grande pero los beneficios pueden ser muchos.

## **5.2 Establecimiento de Bases para la mejora.**

Antes de aplicar cualquier tipo de acción correctiva al sistema, debemos de establecer las bases con las que actualmente se esta laborando en la planta. Para esto, se tendrá que auditar el Sistema Productivo para ubicar el estado actual y considerar los diferentes aspectos en la evaluación de las características específicas de los todos los ámbitos que influyen al proceso y comportamiento de los productos en cuestión, para poder dar un panorama general de las condiciones en que se encuentra el sistema actual y proponer la mejor opción al cambio para optimizar el rendimiento y la productividad de la empresa, comparando el estado actual con los resultados esperados.

### **Revisión de la información de Diseño.**

**Revisar los Dibujos de Ingeniería.** Las dimensiones que afectan el ensamble, el funcionamiento y durabilidad; considerar suficientes cotas identificadas en el plano para minimizar el tiempo de inspección dimensional; dibujar suficientes líneas de referencia (Línea 0-0) identificadas en el plano, que permitan diseñar calibradores funcionales; tolerancias compatibles con los estandard de manufactura aceptados; considerar en la dimensión final la acumulación de tolerancias individuales; proyecciones acotadas para evitar pérdidas de tolerancia innecesarias durante el dimensionamiento.

**Revisar Especificaciones de Ingeniería (EI).** Tener el equipo de prueba la capacidad suficiente para correr todas las pruebas requeridas, por ejemplo: validación de la producción pruebas continuas y recertificación anual; poder probar muestras adicionales cuando sea requerido por algún plan de reacción, sin dejar de

efectuar las pruebas de proceso en forma regular; identificar características dimensionales o del material que afecten los resultados de alguna prueba EI para incluirlas en el Plan de Control.

**Revisión de Especificaciones de Material.** Considerar a los proveedores en la lista de fuentes aprobadas de materiales están incluidos; Solicitar a los proveedores de materiales que certifiquen cada embarque; Identificar características del material que verifique el proveedor en su planta; Considerar a los materiales especificados con algún tratamiento térmico y recubrimientos superficiales, compatibles con los requerimientos de durabilidad del medio ambiente considerado.

**Análisis del modo y efecto de la Falla (Amef) de Diseño.** Identificar operaciones que afecten un modo de falla con alta prioridad de riesgo; Contar con pruebas previas en manufactura que indiquen que operaciones con alta prioridad de riesgo que todavía no sean hábiles para utilizar nuevos procesos sobre los cuales no se tenga experiencia; identificar las operaciones que requieran estudios de habilidad; elaborar un Amef de Proceso si es necesario; utilizar el análisis de diseño de experimentos para prioritar factores mayores causales; Identificar cualquier característica adicional de calidad que requiera solución.

**Revisión de la Información de Manufactura.**

**Diagrama de Flujo del Proceso.** Tener disponible un diagrama de flujo del proceso que ilustre la secuencia de producción y las estaciones de inspección; utilizar el Amef de proceso como una ayuda para desarrollar el flujo del proceso; correlacionar el diagrama de flujo con las verificaciones del producto y del proceso establecidas en el Plan de Control; Describir en el diagrama de flujo como se maneja el

producto a través del proceso, por ejemplo: transportador de rodillos, contenedores deslizantes, etc.; tomar provisiones para enviar el material reparado a una estación de inspección antes de ser nuevamente utilizado; contar con una lista de problemas potenciales de calidad identificados en las operaciones efectuadas fuera de línea, tales como estaciones de reparación y recuperación; tener identificados y corregidos los problemas potenciales de calidad ocasionados por el manejo del material; tener identificados y prevista la localización de procesos de respaldo; tener identificados los puntos de aplicación del Control Estadístico.

**Análisis del modo y efecto de la falla (Amef) de Proceso.** Tener elaborado el Amef basado en la guía editada por la Oficina de Calidad; tener identificadas y enumeradas en forma secuencial todas las operaciones que afectan el ensamble funcionalmente y su durabilidad; planear y tomar las acciones correctivas apropiadas para las operaciones con alta prioridad de riesgo; Los problemas de campo y de plantas consumidoras se han de considerar para el desarrollo del Amef de proceso; tomar las acciones necesarias para elaborar los Estudios Potenciales del Proceso en las operaciones que presentan una alta prioridad de riesgo, en las cuales la incidencia potencial de "ocurrencia" es el factor mayor; En operaciones donde el Amef muestra como factor mayor la "detección" se han tomar provisiones en el Plan de Calidad para controlar y prevenir la causa antes de la operación en cuestión; reevaluar todas las prioridades de riesgo después de tomar las acciones correctivas; usar un "análisis de causa-efecto" (espina de pescado) para identificar factores causales adicionales.

**Plan de piso.** Identificar el plan de piso todas las estaciones de calidad y proceso requeridas; adecuar de buen tamaño todas las

estaciones de proceso y de control de calidad bien iluminadas e incluir todo el equipo y archivos necesarios; adecuar las áreas de cuarentena y almacenamiento en proceso; localizar las áreas de reparación lógicamente para prevenir el uso accidental de material defectuoso; eliminar el riesgo en alguna operación de contaminar o mezclar productos similares; tomar previsiones para colocar ayudas visuales en las operaciones críticas; definir e identificar las localizaciones de los procesos de respaldo; evitar la contaminación de material que se encuentra en un nivel inferior al equipo de manejo de materiales, tuberías, otros procesos, etc.; facilitar las auditorías de almacén o líneas de producción.

**Listado del Equipo Nuevo.** Revisar la lista de equipo nuevo; tener el equipo la suficiente capacidad de producción para manejar los volúmenes planeados; demostrar el Potencial del Proceso con el equipo nuevo; identificar el equipo de inspección para conducir estudios de habilidad; contar con el equipo de prueba adecuado; establecer un método de certificación del equipo de prueba; definir los requerimientos para calibradores especiales; obtener las aprobaciones apropiadas para calibradores especiales; Son los métodos de inspección compatibles entre el proveedor y la planta consumidora; contener en el Plan de Control de identificación de los calibradores de inspección; establecer la correlación de todo el equipo de prueba; establecer las frecuencias de calibración de rutina; realizar el estudio de potencial de máquina en la planta del fabricante del equipo antes de ser entregado, si es necesario; Es la capacidad del equipo de prueba suficiente para aceptar muestreos adicionales cuando se encuentren partes defectuosas; Identificar cualquier característica adicional de calidad que requiera solución.

**Revisión de Información Histórica de Calidad y Garantía.**

Identificar las causas de modos de falla en el campo; identificar las causas actuales o potenciales de problemas de calidad de la planta consumidora; incluir todas las causas en el Amef de proceso; cambiar el diseño para hacer las características en cuestión más factibles, si es necesario; planear o efectuar cambios al proceso para eliminar todos los problemas de calidad, si es necesario; incluir las características causales en el Plan de Control; planear acciones para revisar la instalación y manejo de la parte de referencia en la planta consumidora; planear estudio potenciales del proceso, cartas de control y estudios de habilidad para las características y causas en cuestión; Los productos deben ser manufacturados y embarcados cumpliendo los objetivos de Durabilidad, Calidad y Confiabilidad; Identificar cualquier otra característica adicional de calidad que requiera solución.

**Revisión del Sistema de Calidad.**

Existir contactos definidos del proveedor hacia el cliente para asuntos de calidad; requerir entrenamiento en estadística para efectuar los estudios de control estadístico del proceso y de habilidad; Contar con suficiente personal para cubrir los requerimientos del Plan de Control, inspectores dimensionales, pruebas de ingeniería de comportamiento y de análisis de problemas; tomar provisiones para colocar los últimos dibujos, especificaciones y desviaciones en el punto de inspección; proporcionar a cada inspector hojas de Instrucción de Inspección que consideren lo establecido en el Plan de Control; contar con un programa para calibrar y certificar rutinariamente el equipo de prueba y calibradores; elaborar estudios de habilidad a calibradores;

procedimentar controles de la calidad de entrada de los subproveedores, que contengan la documentación de productos fuera de especificación y seguimiento de acciones a ellos; contar con Hojas de Instrucción de Inspección disponibles que aseguren las frecuencias de Prueba, tamaño de muestra, plan de reacción y reportes de las pruebas de comportamiento de Ingeniería; adecuar el equipo dimensional y al personal para efectuar inspecciones iniciales y de rutina a todos los componentes; considerar la localización de los calibradores de inspectores, muestras de referencia y bitácora de inspección tan cercana como sea posible a la operación de monitorear; tener disponible algún procedimiento para la implantación, monitoreo y plan de reacción de las cartas de control estadístico; contar con formas disponibles para registrar los resultados de inspección, auditorías, etc.; planear e implantar auditorías de rutina en el almacén de producto terminado para asegurar la integridad de los controles en uso.

#### **Lista de Revisión del Plan de Control**

**Características Relevantes.** Identificar las características que afectan los resultados de las pruebas de comportamiento (pruebas EI); identificar características relacionadas con problemas históricos de clientes; identificar las características que afectan al ensamble y el funcionamiento; usar un diagrama de causa-efecto (espina de pescado) para identificar características relevantes; utilizar Amef's de Diseño y Proceso para identificar características relevantes;

**Tamaño de muestra-Frecuencia.** Tomar previsiones para iniciar con muestreos más frecuentes o incrementados, hasta que la habilidad haya sido demostrada; adecuar los tamaños de muestra suficientes para monitorear equipos de estaciones múltiples.

**Método de Análisis.** Precisar la medida de los calibradores y equipo de prueba cuando menos una décima parte de la tolerancia de Ingeniería; solicitar anticipadamente los calibradores para efectuar los estudios de potencial de las máquinas en la planta del fabricante de las mismas; entrenar a los operadores e inspectores en Métodos Estadísticos; definir características que permitan el uso de cartas de control por variables.

**Plan de reacción.** Realizar los arreglos necesarios entre manufactura, Ingeniería y Control de Calidad, para la toma de las acciones correctivas; Los materiales sospechosos y productos fuera de especificación, serán detenidos en el área de cuarentena hasta que se hayan tomado las acciones apropiadas; Asesorar al proveedor, por parte de la actividad aseguramiento de calidad del cliente, para el desarrollo del plan de control.

**Lista de Revisión de Estudios de Potencial del Proceso.**

**Conducción del Estudio.** Calibrar todos los equipos de medición; hacer los ajustes correctivos antes del estudio mencionado; Establecer las partes identificadas y los estudios registrados secuencialmente; anotar en un registro las ocurrencias no usuales: operar la máquina bajo un proceso aprobado; asegurar los ajustes para prevenir su deslizamiento durante la prueba; tomar previsiones para correr un lote de 300 piezas, si es necesario; tomar previsiones para medir un mínimo de 30 Piezas del lote mencionado; contar con la precisión de medición de una décima parte de la tolerancia especificada.

### 5.3 Planteamiento de soluciones practicables.

A continuación mencionaremos algunos de los métodos y filosofías para atacar los problemas internos de la Planta, así como para integrar la información generada por los diferentes departamentos involucrados a fin de incrementar la eficiencia en el comportamiento del área en estudio, así como también de toda la empresa en general. Entre estas podemos mencionar las siguientes:

#### **Formación de Analistas de Tiempos y Movimientos.**

Objetivo. Familiarizarse con las principales técnicas de estudio y medición del trabajo y sus principales aplicaciones en la industria. Dirigido a: Analistas de tiempos y métodos, supervisores de producción, de planeación y control de la producción y demás personal técnico de manufactura.

#### **Ingeniería de métodos.**

Objetivo. Proporcionar una serie de herramientas que les permitan incrementar la productividad de su propia persona y del área bajo su responsabilidad. Capacitar a los integrantes para interpretar adecuadamente los términos y las metodologías de la comprensión y la medición del trabajo, la distribución de la planta y sus aplicaciones a diferentes aspectos de la organización de la producción. Orienta a los responsables de la función de la Ingeniería Industrial, Ingeniería de Métodos o Ingeniería de Manufactura respecto a la forma de administrar su función a manera de obtener resultados satisfactorios. Dirigido a: Gerentes de Planta, Gerentes de Producción, Gerentes de Ingeniería Industrial, Ingenieros de Métodos,

Analistas de Tiempos y Métodos, Supervisores de Producción, Jefes de Oficina, Especialistas en sistemas y procedimientos.

#### **Planeación y Control de la Producción.**

Objetivo. Sensibilizar con el enfoque de sistemas, las funciones de planeación y control y los propósitos de la P.C.P. Capacitar en el empleo de las metodologías de mayor aplicación para ejercer la función de Planeación y Control de Producción. Dirigido a: Jefes y supervisores de Planeación y Control de Producción; Gerentes, Jefes y Supervisores de Producción; Gerentes y Jefes de Control de Inventarios y Almacenes; Gerentes de Planta.

#### **Productividad y Calidad.**

Objetivo. Desarrollar a los integrantes de las empresas como agentes de cambio de su organización para que, en vía a la definición de modelos adecuados a su empresa, dirija e implemente estrategias de mejoramiento en productividad de la organización y en la calidad de sus productos.

Otros medios para crear las soluciones posibles al problema productivo a nivel gerencial son los que a continuación mencionamos:

Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP). Técnica de programación de inventarios para asegurar su disponibilidad en cantidad, tiempo y lugar adecuados, interviniendo en las principales áreas de prefabricación, fabricaciones y ventas, necesitando organizar la planificación y la entrada de la informática en el área de la producción.

**Círculos de Calidad.** Exponente de la filosofía de participación y corresponsabilización del trabajador en la empresa.

**Control de Calidad Total.** Persigue la calidad global y el abarcamiento de todas las áreas y empleados de la empresa.

**Dirección Estratégica.** Desarrolla las habilidades para conocer, analizar y evaluar la toma de decisiones frente a las oportunidades, amenazas, puntos débiles y puntos fuertes de la empresa respecto a su entorno.

**Marketing.** Conjunto de técnicas de determinación de necesidades del mercado y de adaptación de la empresa para satisfacer estas necesidades. Análisis del valor. Técnica de identificación y análisis de las funciones de un producto para mejorarlo (calidad, costes, adecuación al mercado, etc.)

**Sistemas de Control de la Información de la Producción y Contabilidad de la Manufactura (MAPICS/DB).** Como su nombre lo indica, es un sistema computarizado de control integral de datos coordina el flujo de información interdepartamental en una empresa dedicada a la manufactura discreta. Asegura el involucramiento total del personal para una continua interacción de datos con el sistema, haciendo seguros los objetivos y programas planteados por la dirección para justificar compromisos financieros adquiridos.

**Filosofía de Justo a Tiempo.**

Concepción de la preproducción y de la producción basada en la eliminación de stocks y en la versatilidad. Tarjetas KanBan. Utilizadas para la reducción de stocks dentro de las áreas de fabricación.

#### 5.4 Toma de decisiones.

Teniendo en cuenta la estructura del sistema productivo en cuestión, la aplicación del sistema Kan-Ban/Just in Time (justo a tiempo) es uno de los más apropiados a la fabricación en masa con alta

repetitividad de pedido, el cual entra dentro de la categoría de dicho sistema a mejorar. Los criterios que sigue ésta técnica de Justo a Tiempo son: La empresa fábrica para vender no para almacenar, los stocks no son deseables; La fabricación debe concebirse y estructurarse de forma que permita la máxima fluidez; Hay que racionalizar las preparaciones del equipo productivo. Esta filosofía conduce a implementar una producción caracterizada por:

- 1.- Reducción drástica del Almacén de materias primas en base a un suministro muy frecuente y ligado a las necesidades de la producción y el montaje.
- 2.- Eliminación de almacenes de productos intermedios, quedando reducidos al mínimo los stocks a pie de máquina.
- 3.- Situación de los principales suministros de material a pie de máquina o de línea de montaje.
- 4.- Ordenación de la producción directamente ligada a la demanda.
- 5.- Lotes de producción unitarios o muy reducidos. Frecuentes cambios de series en las máquinas.
- 6.- Tiempos de recorrido adaptados a la demanda.
- 7.- Existencias adecuadas.
- 8.- Posibilidades de reacción en el área de fabricación y administración.
- 9.- Eficiente disponibilidad de personal.
- 10.- Mejor grado de utilización de maquinaria y medios de elaboración de mucho valor.

Contar con una integración total de áreas centrales de planificación como son Planificación de la producción, Control de la Producción, Programación y economía de materiales para coordinar el requerimiento

de material, fijación de los plazos de pedidos, planos de trabajo, programas y fabricación del producto.

Aunado a esto proponer la implantación de "islas de producción", tomando de base criterios en la empresa como son la adaptación de las máquinas y equipos a nuevas estructuras de trabajo; tener concientes a los empleados para prevenirlos, motivarlos y capacitarlos al cambio; aceptación por parte de la organización a nuevas estructuras de fabricación; acondicionar las localidades en función de la nueva filosofía; integrar áreas de ámbito indirecto a las áreas de fabricación al sistema de "fabricación por isla"; hacer compatibles los sistemas de remuneración.

Ademas de estos criterios hay que tener en cuenta las tareas de fabricación para optimizar el proceso productivo de cada producto analizando la existencia de muchas operaciones de mecanizado por pieza con sus respectivos tiempos de espera; estabilizar la estructura de pedidos; establecer series de producción de tamaño pequeño/mediano; tener en cuenta la posibilidad del mecanizado en máquinas universales; hacer una revisión de las piezas que presenten plazos críticos de entrega; mecanizar piezas conforme al principio de orientación hacia el resultado en grupos de trabajo; y, capacitar a todo operario para que pueda laborar en diferentes puntos de trabajo. Esta alternativa, es la más viable para la obtención de un resultado positivo, ya que cumple con criterios de aspectos técnicos, económicos, humanos y jurídicos para las necesidades de la empresa.

La dirección, al darse cuenta de la magnitud del problema que representa el hecho del cambio de ubicación del Departamento de Auditoría de Calidad Final y del área de Empaque Final, y teniendo conciencia de la afectación de todo el sistema productivo, la empresa

ha decidido implementar la metodología del Justo a Tiempo, proponiéndose eliminar grandes cantidades de actividades que no agregan valor (trámites improductivos) en los procesos de fabricación, compras y distribución. Cuando se maneja con eficiencia, la implantación de la filosofía JAT reduce significativamente no sólo el costo de fabricación y de los materiales, sino también la necesidad de mantener grandes inventarios; asimismo, permite eliminar tiempos de espera en producción. Esta metodología muestra como resolver problemas prácticos tales como los de nivelar cargas de trabajo, establecer celdas de maquinaria y reducir el tiempo de aislamiento de las máquinas. En el aspecto administrativo, ayuda a crear una imagen en que se pueda llevar a cabo el cambio con pleno éxito en todos los niveles (desde la junta directiva hasta la fuerza laboral de planta, pasando por la administración intermedia).

Muchas de las compañías que han aplicado el JAT sólo lo hacen para reducir sus costos y lograr mayores utilidades. Esta es una visión a corto plazo del potencial del JAT y, como todas las soluciones a corto plazo, con el tiempo fracasa.

La eliminación del desperdicio tienen como resultado a largo plazo, un proceso fabril tan ágil, tan eficiente, tan orientado a la calidad y tan capaz de responder a los deseos del cliente, que llega a convertirse en una arma estratégica. Con un sistema de fabricación más eficiente y menos derrochador, las empresas ya no tendrán que depender del mercadeo y de la publicidad como únicos medios para hacer distinguir sus productos y captar una parte del mercado.

La modalidad JAT no sólo les ofrece a las empresas la oportunidad de mejorar notablemente la calidad de sus productos elaborados, sino que les permite reducir su tiempo de respuesta al mercado hasta en un

90%. El tiempo necesario para lanzar al mercado productos nuevos o modificados de acuerdo con la petición de la clientela, se reduce a la mitad. Al mismo tiempo, se requerirán menos bienes de capital para llevar a cabo lo anterior y los inventarios se podrán recortar en forma drástica, o inclusive eliminar del todo.

Con una buena aplicación de los principios del JAT, empresas que antes tenían que presentarse en el mercado como empresas orientadas al servicio o a la calidad porque no podían competir en precios, pueden empezar a considerarse productoras de bajo costo. Esto puede abrirles mercados totalmente nuevos y distinguirlas de todas las demás compañías orientadas hacia el servicio o hacia la calidad.

Ante tales oportunidades, es imperativo que la empresa planee y aplique el JAT dentro del plan integral de negocios o de mercadeo. En muchos casos, las metas estratégicas de la empresa determinarán la implantación de ciertos elementos del JAT desde un comienzo, mientras que otros elementos serán menos importantes. Por otra parte, algunas empresas, al considerar las posibilidades del JAT, optarán por modificar sus planes de negocios o de mercadeo, o inclusive replantearlos a fin de adaptarlos mejor a las oportunidades que el JAT ofrece.

En la filosofía JAT hay tres importantes componentes básicos para eliminar el desperdicio.

El primer componente básico de la eliminación del desperdicio es imponer equilibrio, sincronización y flujo en el proceso fabril, ya sea donde no existan o donde se les pueda mejorar.

El segundo componente es la actitud de la empresa hacia la calidad: la idea de "hacerlo bien a la primera vez".

El tercer componente de la filosofía JAT es la participación de los empleados. Este es un requisito previo para la eliminación del desperdicio. Cada miembro de la organización desde el personal de la fábrica hasta los más altos ejecutivos, tienen una función por cumplir en la eliminación del desperdicio y en la solución de los problemas fabriles que ocasionan desperdicios. La única manera de resolver los centenares o hasta miles de problemas que surgen en un sistema de fabricación (desde los más pequeños hasta los más grandes) es asegurando la participación cabal de todos los empleados.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las decisiones tomadas por la directiva de esta planta, el simulador causo un tremendo impacto en la determinación de la solución a seguir en el desarrollo de la mejora productiva de la empresa. Como se pudo observar, con la ayuda del computador y el análisis posterior al simulador. De un problema aparentemente sencillo, se encontraron las raíces verdaderas de la problemática del flujo de materiales de dicho departamento, así como las posibles alternativas de solución para resolver tal situación.

El auge tecnológico en los sistemas de información y desarrollos de nuevas técnicas mediante computadora para preveer, controlar y coordinar los resultados esperados dentro de un sistema productivo están causando una verdadera revolución para incrementar la productividad de las empresas, independientemente de la industria en que estos sean aplicados, como fue este caso.

Considerando lo anterior, podriamos pensar en la implementación de sistemas de control de información que coordinen el desarrollo de la producción y contabilice los movimientos de fabricación, soporten de manera integral el flujo de información entre las diferentes áreas de la empresa, así como de concientizar a la planta de los beneficios que se consiguen con un sistema de estas características dentro de un sistema productivo.

## **BIBLIOGRAFIA**

## B I B L I O G R A F I A

- Sistemas de Producción e Inventario  
E.S. Buffa y W.Taubert; L.I.M.U.S.A. México 1987
- Programa de Estudios de Dirección  
R.E.F.A. Asociación para el Estudio del Trabajo 1989
- Procesos de Fabricación  
M. Begeman y B. Amstead; C.E.C.S.A. 10a imp. México 1977
- Distribución de Planta: Manejo de Materiales  
Centro Industrial de Productividad.
- Dirección de Operaciones  
E.S. Buffa; Ediciones Ciencia y Técnica S.A. Vol.1 1987
- Scientific Management  
F.W. Taylor; Harper and Brothers N.Y.1947
- Quality Control and Industrial Statics  
J.B. Boulden y E.S. Buffa; California Management Review Vol.1  
No.4 1959
- Biblioteca del Ingeniero Industrial  
Gavriel Salvendy; Ediciones Ciencia y Técnica S.A. Vol.7 1990
- System Simulation: The art and science  
R.E. Shannon; Prentice Hall Engelwood Cliffs,NJ 1975
- Modeling and Analsys using G-GERT Networks  
A.A.B. Pritsker; Halsted NY 1979
- Introduction to Simulation and SLAM  
A.A.B. Pritsker and Pegden; Halsted NY 1979
- The process view of Simulation  
W.R. Franta; Elvsevier North-Holland NY 1977
- Applied Numerical Methods  
Camaham, Luther and Wilkes; Wiley NY 1969
- Design and Use of Computer Simulation Models  
J.P. Emshoff and R. Sisson; MacMillan Londres 1970
- The Application of GPSSV to Discrete System  
G. Gordon; Prentice Hall Engelwood Cliffs, NJ 1975
- Simulation using GPSS  
T.J. Schriber; Wiley NY 1974
- The Simscript II Programming Language  
Kiviat, Villanueva M.; Prentice Hall Engelwood Cliffs, NJ 1975
- Literature Review Bibliography of Simulation

- W. Farrel; Winters Simulation Conference, 1977 Proceeding
- A survey of research on the Simulation  
R.H. Myers; Responce Surface Methodology Vol.31, 1978
  - Simulation Principles and Methods  
W. Graybel and W.H. Green; Winthrop Cambridge MA 1980
  - A guide to using CSMP  
H.S. Speckhart and Green; Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ 1976
  - Catálogo General 89/90  
Hella Kg Hueck & Co. Printed in Germany.
  - Nuevos desarrollos en Faros para Automóvil  
Hella Kg & Co. Hella SAE 1991
  - Periodico de la Gente Hemex  
Hemex Vol.1 Num.1 Diciembre 1987
  - Fundamentos , productos y métodos de limpieza  
Oakite. Ciencia 1978
  - Manual del pintor profesional  
Dupont. Pproductos de Repintado Automotriz 1991
  - Electroquímica Parte 2  
E. Villareal y S. Bello; A.N.U.I.E.S. 1975
  - Super Adhesivos  
Loctite Company México S.A. de C.V.
  - Flexible Manufacturing Solutions  
Chiron Ft Machine Tool Corporation Canada
  - Técnicas de uniones por ultrasonido  
Branson Grupo Stevi S.A. Branson Ultrasonic Corporation
  - Standard Test on Plastics  
Celanese Bulletin G1C 11th Edition
  - Procedimiento para fabricar un molde  
Ciba-Geigy Tooling Resins División Plásticos.
  - Conferencia sobre Eficiencia y Productividad  
N. Sánchez Colin; Asociación de Industriales de Iztacalco
  - Técnicas de Control  
Festo Didactic. Programa de Seminarios Enero-Junio 1989
  - Stock List New & Used Machinery  
Pearl Equipmeent Co. Inc.  
Machinery dealers National Assosiation '87
  - Plastics '89 Exhibición y Seminario de Equipo  
Centro de Comercio Estadounidense marzo 1989

- Distribución de Planta: Manejo de Materiales  
Centro Industrial de Productividad.
- Programación en Quick Basic 4.0/4.5  
Luis Joyanes Aguilar McGraw Hill/Interamericana de México 1991
- Lista General de Revisión de Auditoría  
Centro de Auditoría Ford a Proveedores 1989
- Enlace. Revista de Ingeniería Industrial  
UAM Unidad Azcapotzalco Div. Ciencias Básicas e Ingeniería  
No.1 Enero-Abril 1988
- Entrevista a funcionarios del Departamento SECOFI  
Departamento de Desarrollo y de Control de Calidad
- Hacia un Sistema propio de Calidad  
Agustín Delgado F. UAM Azcapotzalco 1987
- Memorias de la V reunión de Ingenieros Industriales  
Congreso Nacional A.I.I. Guadalajara Jalisco, 1986
- Círculos de Calidad  
Thompson Phillipps Editorial NORMA, México 1984
- 6 Pasos hacia una Producción más Rentable  
Asociación para el Estudio del Trabajo, 1984
- Justo a Tiempo (Just in Time)  
Edward J. Hay Editorial Norma, Tercera reimp. 1990

## **ANEXOS**

**A.1 REPORTE DIARIO DE PRODUCCION SALIDO DEL DEPARTAMENTO DE EMPAQUES.**

| Mes/<br>Dia                           | F A M I L I A S |                      |                     |                                  |               |                   |              | TOTAL          |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------|-------------------|--------------|----------------|
|                                       | FAROS           | LUCES Y<br>CALAVERAS | CLAXON Y<br>BOCINAS | PIEZAS<br>INTERCOMP. Y PZS.SUELT | ACCESORIO     | PIEZAS<br>SUELTAS | CONTACTORES  |                |
| 1.11                                  | 1927            | 9771                 | 6121                | 13921                            | 8370          | 12053             | 600          | 52763          |
| 1.12                                  | 3413            | 13795                | 3724                | 2700                             | 13941         | 27967             | 0            | 65540          |
| 1.15                                  | 1651            | 3347                 | 5443                | 0                                | 5139          | 9499              | 0            | 25079          |
| 1.16                                  | 1784            | 7913                 | 4088                | 45699                            | 5573          | 19593             | 1204         | 85854          |
| 1.17                                  | 1154            | 4053                 | 2295                | 12669                            | 4965          | 10360             | 900          | 36696          |
| 1.18                                  | 2530            | 9701                 | 4653                | 20726                            | 3085          | 11138             | 1267         | 53100          |
| 1.19                                  | 4141            | 12057                | 2261                | 84680                            | 4943          | 6938              | 0            | 115020         |
| 1.22                                  | 1359            | 4920                 | 199                 | 62680                            | 2106          | 8785              | 0            | 80049          |
| 1.23                                  | 3620            | 6508                 | 0                   | 25030                            | 2479          | 6294              | 4700         | 48631          |
| 1.24                                  | 3121            | 7178                 | 1184                | 18292                            | 4723          | 12829             | 0            | 47327          |
| 1.25                                  | 1521            | 5243                 | 8155                | 82855                            | 700           | 1654              | 1800         | 101928         |
| 1.26                                  | 2826            | 10671                | 5524                | 79440                            | 4325          | 10827             | 0            | 113613         |
| 1.29                                  | 1175            | 4873                 | 9035                | 81480                            | 1682          | 12598             | 0            | 90843          |
| 1.30                                  | 2185            | 7501                 | 4771                | 29275                            | 2413          | 9596              | 0            | 55741          |
| 1.31                                  | 1156            | 5756                 | 478                 | 19760                            | 1890          | 7238              | 1143         | 37421          |
| 2.01                                  | 3803            | 10102                | 2551                | 33000                            | 1354          | 12169             | 0            | 62979          |
| 2.02                                  | 3911            | 13927                | 7193                | 33420                            | 3662          | 7050              | 0            | 69163          |
| 2.06                                  | 2466            | 1522                 | 614                 | 15480                            | 1232          | 22642             | 0            | 43936          |
| 2.07                                  | 2393            | 8166                 | 2350                | 3120                             | 5518          | 6949              | 1298         | 29794          |
| 2.08                                  | 3002            | 6577                 | 2469                | 0                                | 5298          | 17697             | 0            | 35043          |
| 2.09                                  | 5225            | 10231                | 6149                | 24670                            | 4820          | 8440              | 0            | 59535          |
| 2.12                                  | 2657            | 9647                 | 7243                | 12660                            | 5595          | 11797             | 1460         | 51059          |
| 2.13                                  | 2201            | 6099                 | 265                 | 5296                             | 5834          | 9627              | 0            | 29320          |
| 2.14                                  | 2784            | 9242                 | 134                 | 0                                | 1484          | 5669              | 0            | 19313          |
| 2.15                                  | 1939            | 7122                 | 2422                | 20110                            | 7493          | 11321             | 2410         | 52817          |
| 2.16                                  | 3314            | 12972                | 1698                | 13832                            | 4405          | 24719             | 1190         | 62130          |
| 2.17                                  | 2785            | 6107                 | 11725               | 0                                | 8433          | 9024              | 0            | 38054          |
| 2.20                                  | 1117            | 3929                 | 1279                | 14770                            | 2558          | 11494             | 2050         | 37197          |
| 2.21                                  | 4629            | 15379                | 0                   | 435                              | 5076          | 13248             | 893          | 39660          |
| 2.22                                  | 2212            | 6775                 | 0                   | 49284                            | 2465          | 11655             | 1000         | 73391          |
| 2.23                                  | 2353            | 9277                 | 9353                | 9880                             | 5686          | 3821              | 0            | 40370          |
| 2.26                                  | 3892            | 11008                | 9023                | 50369                            | 5016          | 17145             | 0            | 96453          |
| 2.27                                  | 892             | 6524                 | 4200                | 28978                            | 2117          | 10752             | 2760         | 58223          |
| 2.28                                  | 3265            | 7022                 | 2163                | 13690                            | 2121          | 10316             | 1011         | 39588          |
| 3.01                                  | 3670            | 11681                | 3940                | 25781                            | 4780          | 11497             | 1000         | 62349          |
| 3.02                                  | 2069            | 14110                | 5236                | 17171                            | 6014          | 26430             | 1000         | 72030          |
| 3.02                                  | 1906            | 6304                 | 3157                | 23570                            | 3197          | 12861             | 3020         | 54015          |
| 3.06                                  | 4034            | 6486                 | 835                 | 2990                             | 3223          | 19128             | 0            | 36696          |
| 3.08                                  | 3110            | 9367                 | 3470                | 2472                             | 17146         | 2290              | 0            | 37855          |
| 3.09                                  | 4262            | 16312                | 18149               | 0                                | 5720          | 24621             | 0            | 69064          |
| 3.12                                  | 2418            | 6975                 | 2066                | 2900                             | 10692         | 20649             | 0            | 45700          |
| 3.13                                  | 4298            | 11610                | 3823                | 41435                            | 9194          | 13906             | 1470         | 85736          |
| 3.15                                  | 1510            | 6028                 | 3812                | 0                                | 6701          | 28341             | 0            | 46392          |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>115660</b>   | <b>363786</b>        | <b>173248</b>       | <b>1004500</b>                   | <b>213166</b> | <b>552927</b>     | <b>32176</b> | <b>2455467</b> |
| <b>PORC.</b>                          | <b>4.7%</b>     | <b>14.8%</b>         | <b>7.1%</b>         | <b>40.9%</b>                     | <b>8.7%</b>   | <b>22.5%</b>      | <b>1.3%</b>  | <b>100.0%</b>  |
| <b>PIEZA<br/>PROMEDIO<br/>POR DIA</b> | <b>2857</b>     | <b>8985</b>          | <b>4279</b>         | <b>24809</b>                     | <b>5265</b>   | <b>13656</b>      | <b>795</b>   | <b>60644</b>   |

**A.2 INFORME DIARIO DE PRODUCCION Y RECHAZOS ENERO-MARZO 1990.**

| Mes/<br>Dia  | POSICIONES   |             | TOTAL DE D I S T R I B U C I O N |             |              |              |             |
|--------------|--------------|-------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
|              | Aceptadas    | Rechazadas  | POSICIONE                        | Export.     | Original     | Comercial    | Varios      |
| 1.02         | 82           | 2           | 64                               | 0           | 53           | 9            | 0           |
| 1.03         | 104          | 2           | 106                              | 3           | 88           | 13           | 0           |
| 1.04         | 115          | 5           | 120                              | 11          | 90           | 14           | 0           |
| 1.05         | 103          | 4           | 107                              | 16          | 66           | 14           | 7           |
| 1.08         | 118          | 2           | 120                              | 24          | 78           | 15           | 3           |
| 1.09         | 104          | 7           | 111                              | 16          | 79           | 9            | 0           |
| 1.10         | 124          | 0           | 124                              | 16          | 71           | 20           | 17          |
| 1.11         | 102          | 6           | 108                              | 14          | 77           | 11           | 0           |
| 1.12         | 124          | 12          | 136                              | 18          | 71           | 30           | 5           |
| 1.13         | 83           | 3           | 86                               | 10          | 60           | 13           | 0           |
| 1.15         | 75           | 12          | 87                               | 10          | 42           | 13           | 10          |
| 1.16         | 119          | 1           | 120                              | 14          | 89           | 12           | 4           |
| 1.17         | 92           | 8           | 100                              | 0           | 51           | 22           | 19          |
| 1.18         | 123          | 9           | 132                              | 15          | 80           | 19           | 9           |
| 1.19         | 147          | 10          | 157                              | 13          | 110          | 19           | 5           |
| 1.22         | 89           | 10          | 99                               | 7           | 60           | 14           | 8           |
| 1.23         | 96           | 2           | 98                               | 7           | 70           | 19           | 0           |
| 1.24         | 121          | 10          | 131                              | 5           | 84           | 30           | 2           |
| 1.25         | 74           | 11          | 85                               | 1           | 57           | 10           | 6           |
| 1.26         | 55           | 5           | 60                               | 1           | 37           | 17           | 0           |
| 1.27         | 83           | 3           | 86                               | 0           | 68           | 15           | 0           |
| 1.29         | 55           | 9           | 64                               | 0           | 42           | 13           | 0           |
| 1.30         | 107          | 11          | 118                              | 0           | 81           | 26           | 0           |
| 1.31         | 77           | 9           | 86                               | 1           | 35           | 25           | 16          |
| 2.01         | 132          | 13          | 145                              | 0           | 79           | 53           | 0           |
| 2.02         | 139          | 9           | 148                              | 1           | 103          | 35           | 0           |
| 2.06         | 64           | 10          | 74                               | 5           | 49           | 10           | 0           |
| 2.07         | 109          | 5           | 114                              | 6           | 83           | 20           | 0           |
| 2.08         | 88           | 16          | 104                              | 1           | 67           | 20           | 0           |
| 2.09         | 180          | 7           | 187                              | 6           | 131          | 23           | 20          |
| 2.12         | 111          | 9           | 120                              | 0           | 93           | 17           | 1           |
| 2.13         | 120          | 6           | 126                              | 5           | 88           | 27           | 0           |
| 2.14         | 99           | 6           | 105                              | 7           | 67           | 25           | 0           |
| 2.15         | 86           | 7           | 93                               | 0           | 54           | 15           | 17          |
| 2.16         | 187          | 9           | 196                              | 20          | 121          | 46           | 0           |
| 2.19         | 156          | 11          | 167                              | 10          | 120          | 24           | 2           |
| 2.20         | 62           | 7           | 69                               | 6           | 40           | 16           | 0           |
| 2.21         | 199          | 13          | 212                              | 10          | 164          | 17           | 8           |
| 2.22         | 130          | 9           | 139                              | 7           | 100          | 16           | 7           |
| 2.23         | 135          | 12          | 147                              | 10          | 111          | 14           | 0           |
| 2.25         | 147          | 6           | 153                              | 12          | 123          | 12           | 0           |
| 2.27         | 125          | 6           | 131                              | 18          | 81           | 26           | 0           |
| 2.28         | 116          | 22          | 138                              | 24          | 79           | 6            | 7           |
| 3.01         | 144          | 10          | 154                              | 23          | 117          | 4            | 0           |
| 3.02         | 179          | 5           | 184                              | 15          | 129          | 24           | 11          |
| 3.05         | 104          | 4           | 108                              | 9           | 73           | 22           | 0           |
| 3.06         | 119          | 12          | 131                              | 4           | 102          | 13           | 0           |
| 3.07         | 158          | 4           | 162                              | 12          | 114          | 20           | 12          |
| 3.08         | 102          | 10          | 112                              | 10          | 81           | 10           | 1           |
| 3.09         | 241          | 4           | 245                              | 24          | 162          | 31           | 24          |
| 3.12         | 99           | 8           | 107                              | 7           | 73           | 19           | 0           |
| 3.13         | 160          | 9           | 169                              | 10          | 138          | 14           | 0           |
| <b>TOTAL</b> | <b>6043</b>  | <b>402</b>  | <b>6445</b>                      | <b>464</b>  | <b>4377</b>  | <b>981</b>   | <b>221</b>  |
| <b>PORC.</b> | <b>93.8%</b> | <b>6.2%</b> | <b>100.0%</b>                    | <b>7.2%</b> | <b>67.9%</b> | <b>15.2%</b> | <b>3.4%</b> |

B.1. PROGRAMA PARA SIMULAR EL ESTADO ACTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE AUDITORIA FINAL EN FUNCION DEL TIEMPO DE INSPECCION, TIEMPO DE ESPERA Y AREAS OCUPADAS

```
DEFINITE I-J, N
DECLARE SUB GRAFICA (AREADIA(), PROMEDIO, SWICH)
DIM LLEGARON(7), CANTA(7), MINIMO(7), TOTPIEZAS(7),
AREACONT(7), STACK(150,3), ICONTEN(7,280), AREADIA(22)
```

```
FOR I = 1 TO 7: READ MINIMO(I), TOTPIEZAS(I), AREACONT(I): NEXT I
```

```
DATA 36, 2857, .64, 72, 9000, 1.236, 40, 4279, 1440, 648, 24809,
3880, 12, 5265, 432, 400, 13656, 14400, 648, 759, .6
```

```
RANDOMIZE (VAL(RIGHT$(STR$(TIMER),1)))
```

```
' INICIALIZA VALORES PARA COMENZAR PROGRAMA
```

```
AUDITAREA = 216: PROMEDIO = 0: HORAPRO = 0: HORACRIT = 0
SWICH = 0: AUDITOR = 2
```

```
' INICIO DEL MES (ENCABEZADO DE PROGRAMA E INICIALIZACION DE VALORES DE NVO.DIA)
```

```
50 FOR DIA = 1 TO 22: FOR I = 1 TO 7: CANTA(I) = 0: AREA(I) = 0:
ICONTEN(I,0) = 0: NEXT I: TOTAL = 0: STK = 0: LIBERA = 1:
PENDIENTE = 0: AMAX = 0: HCRIT = 0
CLS : VIEW PRINT: COLOR 0,7
LOCATE 1, 23: PRINT "S I M U L A D O R   D E   P R O D U C C I
O N"
LOCATE 2, 34: PRINT "AREA DE AUDITORIA FINAL"
PRINT TAB(1); "   DIA"; DIA; "   "
PRINT TAB(1); "   HORA "; :
PRINT TAB(10); "FAROS"; TAB(20); "LUCES Y"; TAB(30); "CLAXON
Y"; TAB(40); "PIEZAS"; TAB(50); "ACCESOR."; TAB(60); "PIEZAS";
TAB(70); "CONTACTORES"
PRINT TAB(20); "CALAV."; TAB(30); "BOCINAS"; TAB(40);
"INTERC."; TAB(60); "SUELTAS"; SPC(81 - POS{0});
COLOR 7, 0: LOCATE 25, 5: PRINT "% DE LLEGADA DE PRODUCCION ";
COLOR 6, 0: LOCATE 25, 37: PRINT "% AUDITADO ";
COLOR 2, 0: LOCATE 25, 53: PRINT "% AREAS OCUPADAS m²";
COLOR 7, 0: VIEW PRINT 5 TO 23
```

```
' INICIO DEL DIA
```

```
60 FOR HORA = 8 TO 17.5 STEP .5: PRINT : PRINT TAB(3); HORA;
65 RANDOMIZE (VAL(RIGHT$(STR$(TIMER),1)))
```

```
70 ' PROBABILIDAD DE QUE HORA LLEGUE EL PRODUCTO
```

```
75 IF TOTAL = 7 THEN 260
II = 0: PLLEGA = 0
IF SWICH = 1 THEN PLLEGA = 100: GOTO 120
```

```

80     IF HORA < 13 AND II < 5 THEN PLLEGA = INT(RND * 1000): IF
      PLLEGA < 5 OR PLLEGA > 100 THEN II = II + 1: PLLEGA = 0 :
      GOTO 80 ELSE PLLEGA = 20
90     IF HORA >= 13 AND II < 5 THEN PLLEGA = INT(RND * 100): IF
      PLLEGA <= 1 OR PLLEGA > 100 THEN II = II + 1: PLLEGA = 0:
      GOTO 90 ELSE PLLEGA = 100
110    IF PLLEGA = 0 THEN 260

120 '  PROBABILIDAD DE CUANTOS PRODUCTOS VAN A LLEGAR AL AREA DE
      AUDITORIA

      IF SWICH = 1 THEN NUMPRO = 7 GOTO 150

130    IF HORA < 13 THEN NUMPRO = INT(RND * 100): IF NUMPRO < 1 OR
      NUMPRO > 2 OR NUMPRO + TOTAL > 7 THEN 130
140    IF HORA >= 13 THEN NUMPRO = INT(RND * 100): IF NUMPRO < 1 OR
      NUMPRO > 7 OR NUMPRO + TOTAL > 7 THEN 140

150 '  PROBABILIDAD DE CUALES PRODUCTOS LLEGAN AL AREA

      IF SWICH = 1 THEN FOR I = 1 TO 7: LLEGARON(I) = I: NEXT I:
      GOTO 195

155    FOR I = 1 TO 7: LLEGARON(I) = 0: NEXT I
160    FOR I = 1 TO NUMPRO
170    CUAL = INT(RND * 10): IF CUAL < 1 OR CUAL > 7 THEN 170
      IF CANTA(CUAL) >= 99.9 THEN 170
180    IF LLEGARON(CUAL) <> 0 THEN 170 ELSE LLEGARON(CUAL) = CUAL
190    NEXT I

195 '  PROBABILIDAD DE CUANTO LLEGA DE C/PRODUCTO

      IF SWICH = 1 THEN IF CANTA(7) = 100 THEN NUMPRO = 6:
      LLEGARON(7) = 0

200    FOR J = 1 TO 7: IF LLEGARON(J) = 0 THEN 230

      SELECT CASE J

'  SELECCIONA ENTRE LAS FAMILIAS DE FAROS Y LUCES.
'  CALCULA CANTIDAD QUE LLEGA.

      CASE 1 TO 2

          IF SWICH = 1 THEN CAN = 100 * (INT(TOTPIEZAS(J) / 19) /
          TOTPIEZAS(J)) GOTO 215

210    CAN = INT(RND * 100): IF CAN < 1 OR CAN > PLLEGA THEN 210
      CAN = INT((CAN / 100) * TOTPIEZAS(J))
      CAN = INT(CAN / MINIMO(J))
      IF CAN < 1 THEN CAN = MINIMO(J)
      CAN = 100 * ((CAN * MINIMO(J)) / TOTPIEZAS(J))
      IF CAN < 1 OR CAN > PLLEGA THEN 210
      IF CANTA(J) + CAN > 100.1 THEN 210

'  CALCULA AREA OCUPADA

```

```

215  CANTA(J) = CANTA(J) + CAN: LLEGARON(J) = CAN
      IF CANTA(J) > 99.9 THEN CANTA(J) = 100
      IF CANTA(J) >= 100 THEN TOTAL = TOTAL + 1
      NOCONT = INT((LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J)) / MINIMO(J)
      IF NOCONT = 0 THEN NOCONT = 1
      AREA(J) = AREA(J) + NOCONT * AREACONT(J)
      PIEZAS = (LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J)

      FOR I = 1 TO NOCONT
        IF I < NOCONT THEN PLLEG = MINIMO(J) ELSE IF PIEZAS MOD
          MINIMO(J) = 0 THEN PLLEG = MINIMO(J) ELSE PLLEG = PIEZAS MOD
          MINIMO(J)
      NEXT I

      ICONTEN(J, 0) = ICONTEN(J, 0) + NOCONT

      CASE 3 TO 6

' SELECCIONA ENTRE LAS FAMILIAS DE BOCINAS, P. INTERC., ACCESORIOS, Y
  P. SUELTAS
' CALCULA CANTIDAD QUE LLEGA

      IF SWICH = 1 THEN CAN = 100 * (INT(TOTPIEZAS(J) / 19) /
        TOTPIEZAS(J)): GOTO 221

220  CAN = INT(RND * 100): IF CAN < 1 OR CAN > PLLEGA THEN 220
      CAN = INT(CAN * TOTPIEZAS(J))
      CAN = CAN / TOTPIEZAS(J)
      IF CANTA(J) + CAN > 100.1 THEN 220

221  CANTA(J) = CANTA(J) + CAN: LLEGARON(J) = CAN
      IF CANTA(J) >= 99.9 THEN TOTAL = TOTAL + 1: CANTA(J) = 100
      IF INT((LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J) / AREACONT(J) + 1
        = (LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J) / AREACONT(J) THEN
        NOCONT = (LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J) / AREACONT(J)
      ELSE NOCONT = INT(LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J) /
        AREACONT(J) + 1
      END IF

' CALCULA AREA OCUPADA

      AREA(J) = AREA(J) + NOCONT * 1.2
      PIEZAS = (LLEGARON(J) / 100) * TOTPIEZAS(J) : PLLEG = PIEZAS
        IF TOTPIEZAS(J) < AREACONT(J) THEN ICONTEN(J, ICONTEN(J, 0)
          + 1) = PLLEG: GOTO 225

      FOR I = 1 TO NOCONT
        IF I < NOCONT THEN PLLEG = AREACONT(J) ELSE IF PIEZAS MOD
          AREACONT(J) = 0 THEN PLLEG = AREACONT(J) ELSE PLLEG = PIEZAS
          MOD AREACONT(J)
        ICONTEN(J, ICONTEN(J, 0) + I) = PLLEG
      NEXT I

225  ICONTEN(J, 0) = ICONTEN(J, 0) + INT(NOCONT)

```

CASE IS = 7

' SELECCIONA FAMILIA DE CONTACTORES  
' CALCULA CANTIDAD QUE LLEGA.

CAN = 100  
CANTA(J) = 100: LLEGARON(7) = 100: TOTAL = TOTAL +1

' CALCULA AREA OCUPADA

AREA(J) = AREACONT(J)  
ICONTEN(J, 0) = 1  
ICONTEN(J, 1) TOTPIEZAS(J)

END SELECT

PRINT TAB(10 \* J); : PRINT USING "###.## %"; LLEGARON(J);

230 NEXT J: PRINT

GOSUB 2600 ' IMPRIME REPORTES DE AREAS

250 ' PRODUCTOS EN LISTA DE ESPERA

FOR I = 1 TO 7  
IF LLEGARON(I) <> 0 THEN STK = STK + 1: STACK(STK, 1) = I:  
STACK(STK, 2) = (LLEGARON(I) / 100) \* TOTPIEZAS(I)  
NEXT I

260 ' TIEMPO DE INSPECCIÓN EN AUDITORIA

IF STK < LIBBRA THEN 275 ' SALTAR LA REVISION  
IF AUDITOR = 2 AND HORA = 13.5 OR HORA 14 THEN 275  
IF PLLEGA = 0 AND PENDIENTE = 0 THEN 275

GOUSB 2000 ' TIEMPO DE INSPECCION EN AUDITORIA

275 ' CONTINUA

500 NEXT HORA

' REPORTE DEL DIA

COLOR 14, 0  
510 PRINT : PRINT : PRINT "TOTALES "; FOR I = 1 TO 7: PRINT TAB(10 \*  
I); : PRINT USING "###.## %" ; CANTA(I); NEXT I: PRINT  
PRINT "AREA MAXIMA OCUPADA "; PRINT USING "###.## m²"; AMAX; :  
PRINT TAB (35); "HORA " ; :PRINT USING "##:"; INT(HCRIT); :  
PRINT USING "## hrs."; (HCRIT - INT(HCRIT)) \* 60  
PRINT "AREA DE AUDITORIA " ; : PRINT USING "###.## m²";  
AUDITAREA; TAB(35); : PRINT USING "###.## %"; 100 \* AMAX /  
AUDITAREA: PRINT : COLOR 7, 0  
IF DIA = 1 THEN 0\$ = INPUT\$(1)

' TERMINA PENDIENTES DEL DIA

```

IF PENDIENTE = 1 THEN
DO
PRINT TAB(3); HORA;
GOSUB 2000
HORA = HORA + .5
GOSUB 2600
LOOP UNTIL PENDIENTE = 0
END IF
AREADIA(DIA) = AMAX
PROMEDIO = PROMEDIO + AMAX
HORAPRO = HORAPRO + HORA
HORACRIT = HORACRIT + HCRIT
IF DIA = 1 THEN O$ = INPUT$(1)

```

```

NEXT DIA

```

```

PROMEDIO = PROMEDIO / 22
HORAPRO = HORAPRO / 22
HORACRIT = HORACRIT / 22
PRINT : PRINT "AREA MAXIMA PROMEDIO DURANTE EL MES "; :
PRINT USING "###.## m^2"; PROMEDIO; : PRINT TAB(60); : PRINT
USING "###.## %; 100 * PROMEDIO / AUDITAREA
PRINT "HORA PROMEDIO DE AREA MAXIMA DURANTE EL MES "; :
PRINT USING "##:"; INT(HORACRIT); : PRINT USING "## hrs.";
(HORACRIT - INT(HORACRIT)) * 60
PRINT "HORA PROMEDIO DEL AUDITOR DURANTE EL MES "; : PRINT
USING "##:"; INT(HORAPRO); : PRINT USING "## hrs."; (HORAPRO
- INT(HORAPRO)) * 60: PRINT
O$ = INPUT$(1)
CALL GRAFICA(AREADIA(), PROMEDIO, SWICH)

```

```

1000 END

```

```

2000 ' TIEMPO DE INSPECCION EN AUDITORIA

```

```

IF AUDITOR = 2 THEN CAPACIDAD = 3790
IF AUDITOR = 4 THEN IF HORA < 14.5 THEN CAPACIDAD = 3790
ELSE CAPACIDAD = 2 * 3790
LIBO = LIBERA

```

```

DO

```

```

IF CAPACIDAD - STACK(LIBERA, 2) < 0 THEN STACK(LIBERA,
3) = CAPACIDAD / TOTPIEZAS(STACK(LIBERA, 1)):
STACK(LIBERA, 2) = STACK(LIBERA, 2) - CAPACIDAD:
PENDIENTE = 1: LIBERADAS = CAPACIDAD: GOSUB 2500: GOTO
2100
LIBERADAS = STACK = (LIBERA, 2): GOSUB 2500
CAPACIDAD = CAPACIDAD - STACK(LIBERA, 2)
STACK(LIBERA, 3) = STACK(LIBERA, 2) / TOTPIEZAS (STACK (LIBERA, 1
))
LIBERA = LIBERA + 1
LOOP UNTIL STK + 1 = LIBERA
PENDIENTE = 0

```

```

2100 ' REPORTE DEL ESTADO DE LA AUDITORIA

```

```

        IF PENDIENTE = 1 THEN LISTA = LIBERA ELSE LISTA = LIBERA - 1
        COLOR 6,0
    FOR I = LIBO TO LISTA
    PRINT TAN(10 * STACK(I, 1)); : PRINT USING "###.## %"; STACK(I,
    3) * 100;
    NEXT I: COLOR 7, 0: PRINT
    RETURN

2500 ' RESTAR AREAS

    II = 0: CAPO = LIBERADAS

    SELECT CASE STACK(LIBERA, 1)

    CASE 1 TO 2

    DO
        II = II + 1
        IF ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) < 1 THEN 2520
        IF CAPO - ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) < 0 THEN
        ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = CAPO: CAPO = 0: EXIT DO
        CAPO = CAPO - ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II)
        ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = 0
        AREA(STACK(LIBERA, 1)) = AREA(STACK(LIBERA, 1)) -
        AREA(STACK(LIBERA, 1))
    2520 LOOP UNTIL II = ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), 0) OR CAPO = 0

    CASE 3 TO 6

    DO: II = II + 1
        IF ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) < .01 THEN 2540
        IF CAPO + 1 - ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) < 0 THEN
        ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = ICONTEN(STACK(LIBERA, 1),
        II) - CAPO: CAPO = 0: EXIT DO
        CAPO = CAPO - ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II)
        ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = 0
        AREA(STACK(LIBERA, 1)) = AREASSTACK(LIBERA, 1) - 1.2
    LOOP UNTIL II = ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), 0) OR CAPO = 0

    CASE IS = 7

        IF ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = 0 THEN 2560
        IF CAPO - ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) < 0 THEN
        ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = CAPO: CAPO = 0: GOTO 2560
        CAPO = CAPO - ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II)
        ICONTEN(STACK(LIBERA, 1), II) = 0
        AREA (STACK(LIBERA, 1)) = 0

2560 ' CONTINUA

    END SELECT
    RETURN

2600 ' IMPRIMIR REPORTE DE AREAS

    COLOR 2, 0
    AREATOT = 0

```

```
FOR I = 1 TO 7
  IF AREA(I) < .01 THEN 2620
  PRINT AREA TAB(10 * I): PRINT USING "###.## m²"; AREA(I); :
  AREATOT = AREATOT + AREA(I)
2620 NEXT I: PRINT

  IF AREATOT > AMAX THEN AMAX = AREATOT: HCRIT = HORA
  IF AREATOT = 0 THEN 2630

PRINT TAB(11); "AREA UTILIZADA = "; : : PRINT USING "###.## m²";
AREATOT
2630 COLOR 7,0: RETURN
```

```

SUBROUTINA PARA GRAFICA DEL MES
DEFINIT I-J, N
    SUBGRAFICA (AREADIA(), PROMEDIO, SWICH)
1500 VIEW PRINT: CLS :II = 0: AMAX = 0
    DO: II = II + 1
        IF II = 23 THEN EXIT DO
        IF AREADIA(II) > AMAX THEN AMAX = AREADIA(II)
    LOOP
    FOR I = 2 TO 21
        LOCATE I, 5: PRINT "|";
    NEXT I
    LOCATE 22, 5: PRINT "⌘"; STRING$(70,"-")
    II = 0
    DO
        II = II + 1: IF II / 2 = INT(II / 2) THEN COLOR 7, 0 ELSE
        COLOR 3, 0 INI = AREADIA(II) * 20 / AMAX
        FOR I = 22 - INI TO 22
            IF I = 22 THEN LOCATE I, 5 + II * 3: PRINT "⌘": EXIT
        FOR
            LOCATE I, 5 + II * 3: PRINT "⌘"
        NEXT I
        LOCATE 22 - INI, 4 + II * 3: PRINT USING "###"; AREADIA(II)
        LOCATE 24, 5 + II * 3: PRINT USING "##"; II
    LOOP UNTIL II = 22
    INI = PROMEDIO * 20 / AMAX: II = 23
    COLOR 6, 0
    FOR I = 22 - INI TO 22
        IF I = 22 THEN LOCATE I, 7 + II * 3: PRINT "⌘": EXIT FOR
        LOCATE I, 7 + II * 3: PRINT "⌘"
    NEXT I
    LOCATE 22 - INI, 6 + II * 3: PRINT USING "###"; PROMEDIO
    LOCATE 24, 6 + II * 3: PRINT "prom."
    COLOR 7, 0
    LOCATE 25, 34: PRINT "DIAS DEL MES";
    LOCATE 3, 1: PRINT "AREA"
    LOCATE 4, 1: PRINT "MAX."
    LOCATE 1, 19: COLOR 0, 7: PRINT " S I M U L A D O R   D E   P R
O D U C C I O N ": COLOR 7, 0
    OS = INPUT$(1)
    IF SWICH = 0 THEN OPEN "o", #1, "mes-2.doc" ELSE OPEN "o",
    #1, "mes-1.doc"
    FOR I = 1 TO 22: PRINT #1, AREADIA(I); : NEXT I
    CLOSE
END SUB

```