

72  
Zej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**OPTIMIZACION PARA LA SECUENCIACION DE TRABAJOS  
Y CARGA DE MAQUINAS EN SISTEMAS  
DE PRODUCCION INTERMITENTE**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N  
GONZALO MARTINEZ CARBONELL  
ALEJANDRO MOGUEL GOMEZ  
AMALIO AUGUSTO OCAMPO RODRIGUEZ  
VILLERMAN RUIZ CRUZ**

**DIRECTOR: M. C. ARTURO MEJIA RAMIREZ**

**MEXICO, D. F.**

**1 9 8 7**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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.

## INDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE CUADROS	ii
PREFACIO	iii
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
1.1 Situación actual	2
1.2 Concepto de tecnología de grupos	12
1.3 Antecedentes históricos	16
CAPITULO II	
DESARROLLO DE MODELOS DE OPTIMIZACION APLICADOS EN LA TECNOLOGIA DE GRUPOS	21
2.1 Análisis descriptivo de la tecnología de grupos	22
2.2 Métodos que aprovechan la tecnología de grupos	24
2.3 El método Branch and Bound	25
2.4 Análisis de programación de grupos por el método de Branch and Bound	26
2.4.1 Tiempo total del recorrido	27
2.5 Aplicación del método Branch and Bound	27
2.5.1 Procedimientos de ramificación	28
2.5.2 Procedimientos de acotación	28
2.5.3 Algoritmo de optimización para el programa de grupos	29
2.5.4 Un ejemplo resuelto	31
2.5.5 Análisis para las cargas de máquinas	42
2.6 El método de Petrov	43
2.6.1 Programación de grupos por el método de Petrov	44
2.6.2 Un ejemplo resuelto aplicando el método de Petrov	46

	Página
<b>CAPITULO III</b>	
PROGRAMA, ORGANIZACION Y PROCEDIMIENTOS	55
3.1 Manual de organización	56
3.1.1 Definición	56
3.1.2 Importancia	56
3.1.3 Estructura	57
3.2 Manual de procedimientos	65
<b>CAPITULO IV</b>	
ANALISIS ECONOMICO	70
4.1 Beneficio económico	71
4.2 Análisis comparativo de costos	73
4.2.1 Costos del herramental por grupos	73
4.2.2 Costos de maquinado por grupos	82
4.2.3 Costos de preparación por grupos	85
4.3 Conclusión	86
<b>CAPITULO V</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	95
<b>ANEXOS</b>	97
Anexo A - Listado del Programa	97
Anexo B - Corrida del Programa	110

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Distribución en línea	4
2. Distribución por proceso	10
3. Distribución por producto	10
4. Comparación de costos	11
5. Principales tipos de distribución en la industria manufacturera	14
6. Diagrama de Gantt para Branch and Bound	41
7. Gráfica de Gantt representando la solución óptima	57
8. Diagrama de flujo del programa	60
9. Reducción de los costos de manufactura al aplicar la tecnología de grupos	72
10. Costos totales de herramental de los métodos convencionales y por grupos	79
11. Costos unitarios de herramental de los métodos convencionales y por grupos	79

## LISTA DE CUADROS

	Página
1. Partes a fabricar	9
2. Datos básicos para programación de grupos de un sistema de manufactura múltiple	32
3. Tiempos totales de operación	33
4. Secuenciación de trabajos	39
5. Datos básicos para el método de Petrov	47
6. Arreglo de grupos mediante el método de Petrov	52
7. Elementos que conforman la estructura de un programa	57
8. Datos de costos para un análisis comparativo	77
9. Ejemplo calculado para comparación de costos del herramental	78
10. Elementos de decisión	92

## PREFACIO

La producción desempeña un papel muy importante dentro de la estructura de una empresa; gran parte de los costos se originan en esta área.

Si consideramos que la mayoría de las empresas pequeñas, medianas y aún algunas grandes dedicadas a fabricar lotes intermitentes de productos que obedecen a diversas formas y tamaños incurrir en altos costos de producción, debido a la pérdida de tiempo ocasionada por la preparación de las máquinas y los cambios de herramental, vemos que se hace eminentemente necesaria la aplicación de un método o sistema que logre agrupar a más de un producto basado en alguna de sus características.

Una técnica que ha logrado una contribución importantísima al área de manufactura es la Tecnología de Grupos, la cual va directamente ligada con el incremento de la eficiencia productiva de la empresa y opera bajo el principio de agrupar varias partes formando familias naturales en base a la similitud de forma, tamaño o proceso.

En la aplicación de la Tecnología de Grupos existen dos métodos que permiten optimizar la forma en que se deben procesar los lotes de fabricación sin importar su tamaño.

Uno de ellos está basado en la Investigación de Operaciones y es llamado Branch and Bound; el otro es un método heurístico llamado Petrov en honor a la persona que lo desarrolló por primera vez. Ambos parten del principio de que todas las familias de productos están ya formadas y sólo optimizan el orden en que se deben procesar los lotes de producción.

Es importante aclarar que para la aplicación de estos métodos la computación es una herramienta necesaria, debido a que sin ésta el proceso de agrupación sería muy lento, inoportuno y costoso.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## 1.1 SITUACION ACTUAL

De acuerdo al volumen de producción podemos clasificar a las industrias manufactureras dentro de tres grupos genéricos:

- Industrias con producción masiva
- Industrias con producción mediana
- Industrias con producción limitada

En una empresa de producción masiva las inversiones en activos fijos son considerablemente altas. Se tiene personal altamente capacitado, pero para algunos tipos de productos.

Sin embargo, esto simplifica mucho la distribución de la maquinaria, pues se puede aplicar una distribución en serie. Además, si tomamos en cuenta las economías de escala aplicadas al producto, resulta que el costo unitario disminuye en términos reales al aumentar el volumen de producción. Este tipo de maquinaria presenta restricciones en cuanto a la flexibilidad para fabricar diferentes productos, pues al ser demasiado automatizada, es también altamente especializada.

La distribución en serie consiste en acomodar las máquinas en una línea de acuerdo al orden y la secuencia que

siguen las operaciones aplicadas al producto desde que se inicia el proceso hasta dar el acabado final.

Esta técnica se basa en el concepto de intercambio de piezas normalizadas (estandarizadas), que desde Frederick Taylor ya se tenían las primeras bases de investigación.

Hay una serie de factores críticos que influyen en la rentabilidad de una empresa dedicada a la producción en serie. Incluyen: falta de flexibilidad, división de la mano de obra y procesos en elementos menores que puedan efectuarse con rapidez en un solo lugar, el movimiento de los materiales a la estación de trabajo, uso eficiente del tiempo y de la posición de la estación de trabajo, minimizar el tiempo de preparación con el uso de matrices y dispositivos para ensamble, reducción del costo de material efectuando compras de gran volumen, la utilización de herramientas y máquinas especiales para mejorar la eficiencia y elevar la productividad.

En la actualidad, está tomando auge el uso de máquinas totalmente automáticas (robots) y semiautomáticas para eliminar el tiempo improductivo y hacer más rápidos los procesos. Pero cuanto más especializado es el equipo, más críticos se vuelven ciertos factores esenciales, como son la necesidad de tener un mercado masivo que consuma grandes cantidades del producto, el creciente costo de la mano de obra y

la necesidad de modificar el diseño de las piezas para minimizar los procesos en ensamble.

En la figura siguiente se presenta una serie de máquinas herramientas con una distribución en línea.

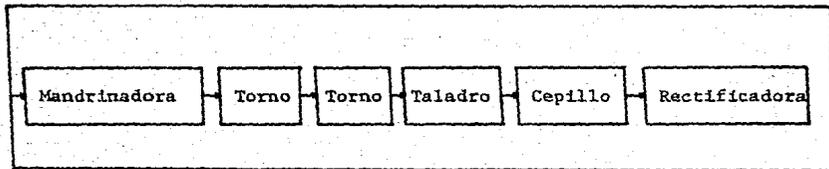


FIG. 1. Distribución en línea

Se tiene un control estricto de los tiempos de fabricación por producto, pues como la producción es continua y siempre de un determinado tipo o tipos de producto, se aplica el principio de los tiempos y movimientos, con lo cual se logra tener un archivo con todas las rutas de fabricación por producto y cada una de éstas con su tiempo estándar. Con esto se pueden tener fechas de entrega exactas, un proceso de planificación muy estable, sin grandes variaciones, lo cual trae como consecuencia inmediata una reducción en el costo, al mantener niveles óptimos de inventarios. De esta manera, las cargas de trabajo tienden a equilibrarse y se logra una continuidad en la operación de las máquinas, evitan

do el tiempo ocioso que implica altos costos.

Debido a la estabilidad de la planificación, se tienen existencias de materiales bajas comparadas con los volúmenes de producción. Se puede lograr la optimización en el uso de los espacios para almacenaje. Todo lo anterior trae como consecuencia la reducción del costo unitario de producción, éste se reduce aún más cuando la planta se acerca, en volúmenes de producción, a la capacidad instalada.

Un alto porcentaje de las empresas que se encuentran en nuestro país están dedicadas a la producción por proceso, es decir, consideran lotes de fabricación medianos y pequeños con una diversidad de formas que evita poderlos procesar en una línea de producción. Para el procesamiento de estos lotes se requiere de maquinaria de uso general que permita una flexibilidad en el proceso. Este tipo de máquinas herramientas representan una baja inversión comparada con las máquinas para producción continua; los costos de mantenimiento son bajos y el personal que la opera está capacitado para realizar dos o más operaciones con la misma maquinaria, con lo cual se satisfacen las necesidades planteadas.

Las industrias de mediana producción, aunque con frecuencia procesan lotes relativamente grandes y en forma bastante continua, tienen altas variaciones en cuanto a la cantidad, pues a menudo el tamaño del lote depende de pedidos

eventuales y algunos de ellos se generan por única ocasión no volviendo a repetirse durante largos periodos.

Las industrias cuyo volumen de producción es limitado, tienen como principal restricción el tamaño de los lotes a fabricar que en la mayoría de los casos son pequeños, pues dependen de pedidos y ventas imprevistas. Este tipo de industria está obligado a trabajar con más de dos productos a la vez, asignándoles prioridades de acuerdo a la demanda que exista en el mercado en el momento que se genera la orden de fabricación.

La distribución de planta es un renglón de principal importancia dentro de la gestión económica de la empresa. No debe subestimarse la importancia de una adecuada planeación de esta función pues el recorrido de los materiales puede considerarse como la espina dorsal de los procesos productivos y, por lo tanto, debe dedicarse la suficiente atención para evitar que debido a la dinámica del desarrollo industrial y tecnológico, los equipos se conviertan en un conjunto desordenado de hombres y máquinas que no asegure la eficiencia esperada de un sistema industrial racionalmente organizado.

Generalmente, las industrias de pequeña y mediana producción realizan su distribución de planta de acuerdo a

las funciones que las máquinas realizan, esto es, por posición fija.

Ocasionalmente se tienen distribuciones por proceso que tratan de generar lo más parecido a una línea de ensamble, esto cuando se tienen volúmenes considerables de producción significa un ahorro de tiempo.

En la práctica pueden presentarse dos tipos de problemas. El más sencillo es aquel en el que se planea la distribución de una fábrica nueva, y el más complicado ocurre cuando se trata de mejorar una disposición ya existente. El segundo caso, tradicionalmente debido a que a medida que la empresa va creciendo se van agregando máquinas en los espacios existentes, sin que exista una dinámica de planeación que permita seguir optimizando las rutas de fabricación.

Al cabo de un tiempo de que esto está sucediendo, se llega a una "distribución" que, por supuesto, está muy lejos de ser la óptima y que agrega mucho tiempo al contenido original del trabajo. Esto se traduce en un incremento en los costos de producción y falta de competitividad.

De acuerdo con la información estadística proporcionada por varias empresas, se ha demostrado que, con frecuencia, el costo de los movimientos va desde un 30% hasta un 50% del costo total de fabricación.\*

\*Ver Apuntes de Diseño de Sistemas Productivos, pag. 29.

Las diversas secciones o departamentos con los que cuenta una industria cuya distribución es por posición fija, dependen básicamente del equipo que se va a utilizar. Dado que los métodos presentados en esta tesis están enfocados a las industrias de producción pequeña y mediana, es importante detenerse un poco en el análisis de la disposición por posición fija y en la disposición por proceso.

En la distribución por posición fija el componente que se encuentra en proceso permanece fijo y los elementos de la producción, esto es, mano de obra, materiales y equipo, ocurren a él. Un ejemplo típico de este tipo de disposición es la fabricación de barcos.

En la distribución por proceso, todas las operaciones del mismo proceso se agrupan en un área. De esta manera, si nos referimos a una empresa de manufactura metalmeccánica, vemos que existen departamentos de torneado, barrenado, troquelado, fresado, rectificado, etc. Cada una de estas áreas opera como una unidad independiente con su propia supervisión y carga de trabajo.

Cada parte que llega al departamento que le corresponde en el proceso, es tratada en forma independiente en cuanto a diseño, herramental utilizado, control de producción y ruta de proceso.

Debido a la distribución de las máquinas, los componentes tienen que entrelazar su trayectoria de acuerdo a la colocación de las máquinas hasta que salen del proceso final como producto terminado.

A continuación, en los cuadros 1 y 2, presentamos un ejemplo gráfico que nos permite determinar cuando es mejor cada una de las dos distribuciones.

Pieza	Operación	Operación	Operación
	1	2	3
X	Taladro	Cepillado	Taladro
Y	Cepillado	Torneado	
Z	Taladro	Torneado	Cepillado

CUADRO 1. Partes a fabricar

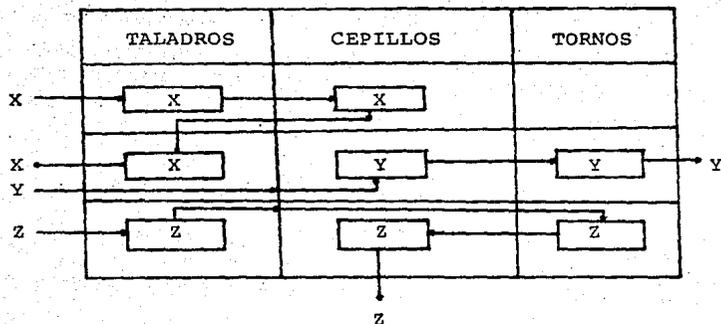


FIG. 2. Distribución por proceso

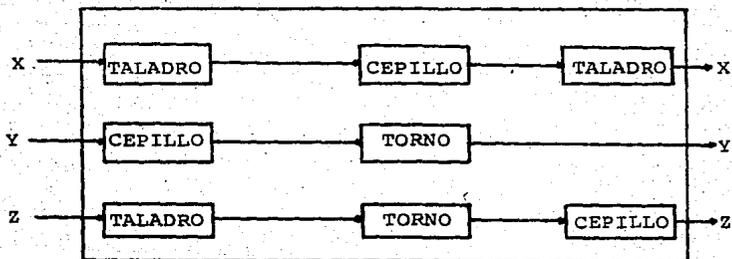


FIG. 3. Distribución por producto

Se puede también hacer un análisis comparativo de los costos de fabricación a través de una gráfica como la siguiente:

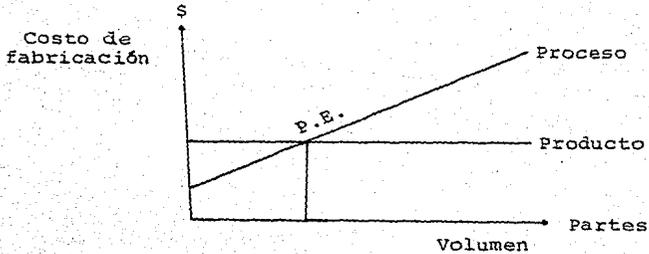


FIG. 4. Comparación de costos

La distribución por proceso ocasiona grandes pérdidas de tiempo y eleva los costos debido a que algunas máquinas permanecen ociosas, mientras que otras se saturan, generando grandes colas de espera de partes para ser procesadas. También se tienen problemas de flujo debido a las grandes cantidades de componentes y la diversidad de las rutas de fabricación que siguen, entrelazando su trayectoria a través de las diferentes estaciones de trabajo. Debido a esto los tiempos de fabricación no se pueden estandarizar y son, por lo tanto, inciertos.

Si a esto sumamos que la llegada inoportuna del producto al cliente significa también pérdida de dinero y tiempo, dado que puede retrasar el ensamble de algún producto verdaderamente importante y costoso.

Finalmente, el departamento de control de inventarios con frecuencia estará quejándose del alto volumen, tanto de producto en proceso como terminado, tratando de evitar su obsolescencia debido a las grandes cantidades que se mantienen por condiciones de seguridad contra los imprevistos.

Después de lo anterior, podemos afirmar que los problemas relacionados con la industria de la manufactura de mediana y baja producción son innumerables. Para esto la Tecnología de Grupos es una herramienta de singular importancia.

## 1.2 CONCEPTO DE TECNOLOGIA DE GRUPOS

La Tecnología de Grupos es una técnica que genera familias de componentes en base a su forma geométrica, tamaño o proceso, formando también grupos de máquinas de tal forma que procesen las familias de partes generadas.

El objetivo principal de la Tecnología de Grupos consiste en mejorar la productividad de una empresa, utilizando las técnicas más avanzadas de producción en línea y sistemas

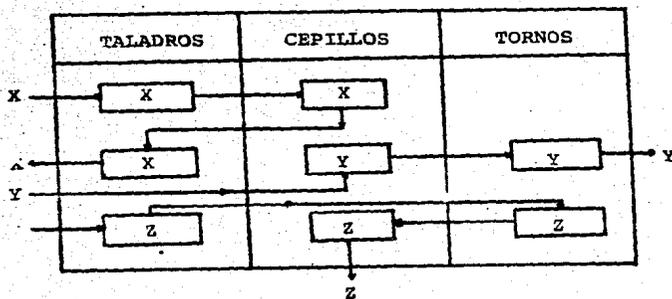
automatizados para procesar las familias de partes que resulten de los lotes a fabricar.

Cuando se fabrican productos en forma de grupos se tienen que formar células de máquinas, las cuales están restringidas por las características tipo de los productos que se van a fabricar. En este tipo de producción se requiere que los grupos de máquinas se encuentren ubicados en una forma tal que las partes sigan una secuencia continua sin que haya necesidad de transportarlas o en caso de ser necesario el transporte sea mínimo.

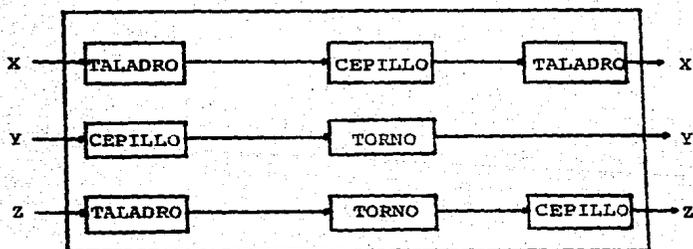
Con esto se logra que los componentes fluyan de una máquina a otra de una forma tal que se obtenga lo más parecido a una línea de producción. Es importante mencionar que no es necesario que el total de los componentes pasen por todos los centros de trabajo, pero sí es condición indispensable que las máquinas que se encuentran en cada célula, puedan realizar todas las operaciones requeridas por la familia.

Al aplicar una distribución por células a una planta se obtienen beneficios económicos significativos, siendo los más importantes el ahorro en los tiempos muertos y el transporte de materiales.

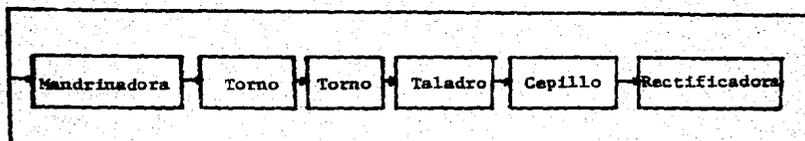
Sin embargo, debido a la similitud que existe entre las partes en cuanto a su forma o proceso es posible el dise



Distribución por proceso



Distribución por producto



Línea de producción

FIG. 5. Principales tipos de distribución en la industria manufacturera

ño de herramientas y accesorios en forma de plantillas de grupo, minimizando los tiempos de preparación y el tiempo ocioso de las máquinas, principalmente por la rapidez del cambio. Así, se logra una reducción en el tiempo total de fabricación de los componentes. Cuando se aplica la Tecnología de Grupos es posible tener sistemas más eficientes de control de producción; esto repercute en una mayor productividad. Algunos beneficios derivados de aplicar la Tecnología de Grupos son:

- Mantener niveles bajos de inventarios y hacer compras planificadas
- Reducción del herramental utilizado
- Reducción de los tiempos de operación
- Optimización en el uso de las máquinas al generar cargas más estables, aprovechando al máximo la capacidad instalada
- Mayor cumplimiento en los tiempos de entrega fijados debido a la buena programación lograda
- Reducción de los costos unitarios de producción

En síntesis podemos definir a la Tecnología de Grupos como:

La técnica que aprovecha las facilidades ofrecidas por los sistemas de producción continuos y los métodos más

automatizados que permiten incrementar la productividad dentro de una empresa, explotando la semejanza que existe entre la forma geométrica, o el tamaño físico de los componentes, así como de la similitud que existe entre las partes que se van a fabricar. En todo momento hay que tener presente que ningún sistema funciona si no existe el elemento humano, por lo tanto, es indispensable que se le tome en consideración.

### 1.3 ANTECEDENTES HISTORICOS

En los últimos años se ha dado una serie de cambios en todas las áreas que han ocasionado reformas continuas a nivel mundial. Estos cambios han afectado diversos sectores, a saber: la iglesia, la política con nuevas formas de convencer a las masas populares, la medicina con grandes avances en las técnicas médicas, la educación y, por supuesto, la tecnología que de una u otra manera afecta el sistema productivo de la empresa, sin importar su tamaño o forma de producción.

La ingeniería industrial juega un papel muy importante dentro de este contexto, pues se dedica al diseño de métodos de trabajo que aumentan la eficiencia de la empresa. Asimismo, realiza estudios de distribución de planta para optimizar espacios y reducir tiempos de recorrido entre cada

estación de trabajo. En esta última parte es donde encaja totalmente la tecnología de grupos, dando continuidad con esto al proceso de desarrollo tecnológico, pues esta técnica se lleva a cabo a través de sistemas computarizados para procesamiento de datos.

Aunque el término "Tecnología de Grupos" es de origen relativamente reciente, los conceptos básicos de éste fueron aplicados anteriormente como prácticas dentro de la ingeniería en el área de producción.

Así tenemos, por ejemplo, que F. W. Taylor a principios de este siglo desarrolló un sistema de clasificación y codificación para la formación de familias de partes, que fue usada en la manufactura de su época.

Posteriormente, en 1925, R. E. Flanders presentó un trabajo en el cual sintetizó las ideas que se habían utilizado para resolver varios problemas que se presentaron en la fabricación de máquinas herramientas de la "Jones and Lamson Machine Company". Este trabajo fue presentado a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, contemplando cuatro ideas principales que a continuación se mencionan:

- Estandarización de productos
- Seccionamiento por producto
- Control visual del trabajo

### Minimización de las distancias de transporte

En 1938, John C. Keer desarrolló un proyecto sobre la forma de planear una fábrica en general, es decir, presentó el primer paso del diseño de planta de una empresa partiendo de una idea básica, argumentando que el flujo de producción se suavizaría, procesando en secuencia partes estándar sobre cada grupo de máquinas.

Este trabajo sirvió de base para que en 1949 Arn Kōr ling realizara un estudio sintetizado en el siguiente texto: "Los principios de la producción por grupos son una adaptación de la producción en línea para talleres que trabajan con lotes de producción... Esto implica una descentralización radical en unidades pequeñas o grupe de producción independientes para la manufactura completa de un tipo especial de partes".

Todas estas ideas fueron conjuntadas y presentadas en "Los Principios Científicos de la Tecnología de Grupos", escrito por Nitrofanov en 1958, siendo uno de los libros más importantes que se han publicado acerca de este tema, colocándose el autor dentro de los mayores contribuyentes al desarrollo de la tecnología de grupos.

Paralelamente, otros trabajos fueron realizados en Alemania por la Universidad Tecnológica de Aachen. En Gran

Bretaña por firmas industriales, éstas desarrollaban algunos grupos tecnológicos y crearon gran interés en la tecnología de grupo.

Igualmente, en el Instituto Universitario de Ciencias y Tecnología de Manchester se realizaron los primeros trabajos de grupos tecnológicos y sus nuevas tendencias hacia otras organizaciones.

En Turín, el profesor Burbidge en un seminario expuso su estudio sobre el "Análisis de Flujo de Producción", que es uno de los temas más importantes para la aplicación de la tecnología de grupos.

Esta tecnología de grupos fue empleada en la segunda guerra mundial por los alemanes en la fabricación de partes para armamento en general, teniendo gran éxito en su implantación.

En casi todos los países europeos se realizaron investigaciones acerca del tema debido a la gran aplicación e importancia de éste.

En América, Estados Unidos se interesó en la clasificación y codificación de sistemas a través de las consultorías Brisch-Birn y trabajos realizados por Allis-Chalmer. Recientemente, la empresa Black and Decker introdujo la tec-

nología de grupos en la fabricación de partes de productos terminados, la cual tuvo mucho éxito debido a que se logró una disminución considerable en el costo de fabricación de los productos.

La computadora ha sido también integrada a la manufactura; esto se debe al gran desarrollo de la tecnología de grupos en esta materia.

La Universidad de Michigan y el "Instituto Internacional para la Investigación de Ingeniería de Producción" desarrollaron un proyecto a futuro donde pronosticaron que el avance de la tecnología de grupos en las industrias manufactureras sería del 50 a 75% en la década de 1980 a 1990.

**CAPITULO II****DESARROLLO DE MODELOS DE OPTIMIZACION  
APLICADOS EN LA TECNOLOGIA DE GRUPOS**

## 2.1 ANALISIS DESCRIPTIVO DE LA TECNOLOGIA DE GRUPOS

La tecnología de grupos forma las familias tomando como base las características más representativas en cuanto a similitud de forma, tamaño o ruta de proceso.

Los trabajos son divididos en varias familias o grupos, para posteriormente proceder a codificarlos.

Los pasos a seguir para la aplicación de la tecnología de grupos se muestran en forma ordenada y resumida a continuación:

1. En un sistema de producción con varias estaciones de trabajo, donde existen  $k$  estaciones o máquinas bajo un orden secuencial, el número de cada una de las estaciones o máquinas se indica por el subíndice  $k$ .

Donde:

$$k = 1, 2, 3, \dots, K$$

2. Los trabajos que se van a efectuar son clasificados en  $M$  grupos. El subíndice  $i$ , indica el número del grupo que se está analizando.

Donde:

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

En el grupo  $i$  ( $G_i$ ) son incluidos  $N_i$  trabajos.

Los trabajos a su vez son indicados por  $j$ .

Donde:

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

Luego:

$$\sum_{i=1}^M N_i = N$$

Es decir,  $N$  es el número de trabajos a efectuar. El trabajo  $J$  en el grupo  $G_i$ , se denota por  $J_{ij}$ .

3. Todos los tiempos de arranque parten de cero ( $t=0$ ).
4. En todas las estaciones de manufactura del sistema de producción, la secuencia de trabajos y grupos es idéntica.
5. El tiempo de procesamiento del grupo está compuesto por la suma de los tiempos de preparación de los grupos más la suma de los tiempos de operación de cada uno de los trabajos contenidos en cada grupo. Suponiendo que el tiempo de preparación para el grupo  $G_i$  en  $M_k$  (máquina  $k$ ) es  $S_{ik}$ , y el tiempo de operación para  $J_{ij}$  en  $M_k$  es  $P_{ij}$ , y además designamos al tiempo total del proceso de  $G_i$  en  $M_k$  por  $P_{ik}$ , tenemos que:

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^{N_i} P_{ij} \quad \dots(1)$$

$$S_{ik} + P_{ik} = Q_{ik} \quad \dots(2)$$

Donde:

$P_{ik}$  = Tiempo de duración de todo el proceso del grupo  $G_i$  en  $M_k$

$N_i$  = Número de trabajos a efectuar en el grupo  $G_i$

$P_{ij}$  = Tiempo de operación para el trabajo  $j$  en el grupo  $i$  en la máquina  $M_k$

$S_{ik}$  = Tiempo de preparación para el grupo  $i$  en la máquina  $M_k$

$Q_{ik}$  = Tiempo total de la operación (tiempo de preparación + tiempo de operación) en  $M_k$  para el grupo  $G_i$ .

6. El criterio empleado para la programación considera que el tiempo total se toma desde que da principio la primera operación del primer grupo hasta que se termina la última operación del último grupo.

De esta manera, el problema se reduce a determinar la secuencia óptima de todos los grupos y trabajos en un sistema de manufactura por proceso para obtener el tiempo total mínimo de la trayectoria.

## 2.2 METODOS QUE APROVECHAN LA TECNOLOGIA DE GRUPOS

Uno de los elementos esenciales que se requieren para la utilización y aprovechamiento de la tecnología de grupos es la adaptación de métodos apropiados para programar las operaciones dentro de un proceso productivo. En este capítulo, se lleva a cabo un estudio que analiza la operación.

de manufactura con etapas múltiples. Cada una consiste de varios productos maquinados utilizando un algoritmo de optimización para determinar la secuencia óptima de trabajos y grupos, formados por familias de partes.

Existen métodos que, aplicados en la tecnología de grupos, permiten obtener la solución óptima que minimiza el tiempo total del proceso.

Nos limitaremos al análisis y aplicación de dos de ellos; estos son:

- Branch and Bound
- Petrov

### 2.3 EL METODO BRANCH AND BOUND

Este método se basa en el principio de que el conjunto de todos los posibles programas parciales o completos, pueden ser representados a través de un diagrama de árbol, con un tronco representando todos los grupos; ramas que representan cada uno de los grupos y nudos que representan los trabajos.

Esta es una técnica con un alto grado de precisión, pero sumamente compleja y requiere de más tiempo de cálculo comparada con otros métodos.

#### 2.4 ANALISIS DE PROGRAMACION DE GRUPOS POR EL METODO DE BRANCH AND BOUND

Si tenemos que  $G_i = G_E$  y partimos de que el grupo E es procesado en la  $i$ ésima posición de la secuencia óptima de grupos y  $J_{ij} = J_{En}$ , tomando en consideración que el trabajo n del grupo E se va a realizar en la  $j$  (ésima) posición del orden establecido para la ruta óptima de fabricación del grupo E que a su vez deberá ser procesado; como ya se mencionó en  $i$  (ésima) posición de la ruta óptima de fabricación establecida para los grupos.

El TIEMPO TOTAL de  $O_{ijk}$  ó  $J_{ij}$  en  $M_k$  es:

$$F_{ijk} = \sum_{E=1}^{i-1} (D_{Ek} + Q_{Ek}) + S_{ik} + \sum_{n=1}^j (d_{nk} + P_{nk}) \dots (3)$$

$$D_{Ek} = \sum_{j=1}^{N_E} d_{Ejk},$$

$$d_{ijk} = F_{ij} (k-1) - F_{i(j-1)k} \dots (4)$$

Donde:

$F_{ijk}$  = tiempo total del recorrido (proceso)

$D_{Ek}$  = tiempo muerto de la máquina  $M_k$  antes de la operación  $j$  y después de terminar la operación  $(j-1)$

$d_{nk}$  = tiempo límite asignado (despreciable)

Si

$$F_{ij(k-1)} \leq F_{i(j-1)} \quad \text{entonces } d_{ijk} = 0$$

#### 2.4.1. Tiempo total del recorrido

De la ecuación (3), se tiene que el tiempo total de operación del trabajo  $J_{ij}$  se puede obtener como:

$$F_{ij} = F_{ijk}$$

$$= \sum_{E=1}^{i-1} (D_{Ek} + Q_{Ek}) + S_{ik} + \sum_{n=1}^j (d_{ink} + P_{ink}) \quad \dots(5)$$

De aquí que el tiempo total de operación es:

$$F = F_M^N N_M$$

$$= \sum_{E=1}^M (D_{Ek} + Q_{Ek}) \quad \dots(6)$$

## 2.5 APLICACION DEL METODO BRANCH AND BOUND

A continuación se presenta el procedimiento para la aplicación del método Branch and Bound para atacar en forma simultánea la solución tanto para la secuencia óptima de gru

po como la de trabajos, de manera tal que se minimice el tiempo total del proceso.

### 2.5.1 Procedimiento de ramificación

Para determinar en forma simultánea la solución que nos da la secuencia óptima, tanto para grupos como para los trabajos, a continuación se define un "grupo nodo" y un "trabajo nodo".

Un grupo nodo  $Nr$  es un nodo en el cual de entre  $M$  grupos disponibles son escogidos y secuenciados  $r$  grupos de la siguiente manera:

$$Nr = (G_1, G_2, \dots, G_r) \quad \dots(7)$$

Un trabajo nodo  $Nrs$ , es un nodo en el cual de entre  $Nr$  trabajos pertenecientes al grupo  $Gr$ , son escogidos y secuenciados  $s$  trabajos de la manera siguiente:

$$Nrs = (Jr_1, Jr_2, \dots, Jr_s) \quad \dots(8)$$

### 2.5.2 Procedimiento de acotación (Procedimiento para calcular la menor cota para los subconjuntos de soluciones)

La cota menor del proceso total en un trabajo nodo  $Nrs$  se estima como se presenta a continuación:

$$LB(Nrs) = \max_{i \leq k \leq K} (FN_{rsk} + FN_{rsk} \dots) \quad \dots(9)$$

Donde:

$F_{Nrsk}$  = tiempo total de operación para trabajos y grupos que ya han sido secuenciados

$F_{Nrsk}'$  = tiempo total de operación para trabajos y grupos que aún no han sido secuenciados

Para aquellos casos en los que se tengan grupos con un solo nodo (caso ideal), la ecuación para el tiempo total de operación es la misma para ambos casos (ya secuenciados y no secuenciados).

$$F_{Nrsk} = F_{rsk}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad \dots(10)$$

Por lo tanto, la ecuación en su forma general es:

$$F_{Nrsk} = \sum_{n=s+1}^{Nr} P_{rsk} + \sum_{E=r+1}^M Q_{Ek} + \min_{(i,j)} \sum_{h=K+1}^K P_{ijh} \quad \dots(11)$$

$$k = 1, 2, \dots, K$$

### 2.5.3 Algoritmo de optimización para el programa de grupos

El algoritmo que determina simultáneamente la secuencia óptima, tanto para grupos como para trabajos, utilizando la cota menor obtenida a través de la ecuación (9), se propone a continuación:

- Paso 1. Hacer  $r = 1$ . Continuar con el paso 2.
- Paso 2. Hacer  $s = 1$  y crear nuevos trabajos nodo Nrs. Avanzar al paso 3.
- Paso 3. Si sucede que para los nuevos trabajos nodo  $Ni-s=1$ , hacer  $s = Ni$  y continuar con el paso 4; si esto no sucede, también ir al paso 4.
- Paso 4. Determinar la menor cota LB (Nrs) para los nuevos trabajos nodo. Continuar con el paso 5.
- Paso 5. De los trabajos nodo que aún no se hayan ramificado, escoger el de la menor cota min LB (Nrs) (en caso de empate, escoger el nodo con el mayor valor de primero  $r$  y luego,  $S$ ). Continuar con el paso 6.
- Paso 6. Si para el trabajo nodo seleccionado se tiene que  $S \neq Ni$ , continuar con el paso 7; caso contrario avanzar al paso 8.
- Paso 8. Si  $r \neq M$ , entonces hacer  $r=r+1$  y regresar al paso 2; en caso contrario la cota general más baja es el tiempo total mínimo, y de esa manera se ha llegado al programa óptimo.

#### 2.5.4 Un ejemplo resuelto

A continuación se presenta un cuadro (cuadro 2), con los datos básicos necesarios para un ejemplo de Grupos de Programación en un sistema de producción con varias estaciones de manufactura.

La solución óptima que minimiza el tiempo total de proceso en cada grupo se obtiene mediante las Técnicas de Grupos de Programación desarrolladas, como se presenta en la figura 6.

En este ejemplo, la secuencia óptima para trabajos que se obtuvo, es la que se presenta en el cuadro 4; el tiempo total mínimo de operación para cada grupo aparece en la última columna del mismo. La figura 6 presenta una gráfica de Gantt para visualizar la solución óptima encontrada.

#### CALCULO DEL TIEMPO TOTAL DE LA OPERACION

Aplicando la ecuación (1)

para  $i=1$  y  $k=1$

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^{N_i} P_{ij}$$

$$P_{11} = (8) + (3) + (4)$$

de donde  $P_{11} = 15 \text{ min}$

Grupo No.	Tra bajo	Tiempos de preparación y proceso	M A Q U I N A S								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
G <sub>1</sub>	J <sub>11</sub>	S <sub>1k</sub>	5	6	5						
		P <sub>11k</sub>	8	3	4						
	J <sub>12</sub>	P <sub>12k</sub>	3	4	4						
		P <sub>13k</sub>	4	4	2						
G <sub>2</sub>	J <sub>21</sub>	S <sub>2k</sub>				6	4	5			
		P <sub>21k</sub>				2	3	4			
	J <sub>22</sub>	P <sub>22k</sub>				2	4	6			
		P <sub>23k</sub>				1	3	5			
G <sub>3</sub>	J <sub>31</sub>	S <sub>3k</sub>							4	6	5
		P <sub>31k</sub>							2	1	2
	J <sub>32</sub>	P <sub>32k</sub>							3	4	5
		P <sub>33k</sub>							2	3	4

CUADRO 2. Datos básicos para programación de grupos de un sistema de manufactura múltiple

Sustituyendo el valor de  $P_{ik}$  en la ecuación (2)

$$Q_{ik} = S_{ik} + P_{ik},$$

para  $i=1, k=1$

$$S_{11} = 5 \text{ min}$$

$$P_{11} = 15 \text{ min}$$

por lo tanto:

$$Q_{11} = 5+15$$

$$Q_{11} = 20 \text{ min}$$

Siguiendo el mismo procedimiento obtenemos el siguiente cuadro:

Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
$Q_{11}$	$Q_{12}$	$Q_{13}$	$Q_{24}$	$Q_{25}$	$Q_{26}$	$Q_{37}$	$Q_{38}$	$Q_{39}$
20	17	15	11	14	20	11	14	16

CUADRO 3. Tiempos totales de operación

Es importante mencionar que en este tipo de agrupación las  $Q_{ik}$  no intervienen en la solución del problema, ya que se puede resolver como grupos independientes. Dependiendo, ya sea de las características geométricas o de maquinado, las agrupaciones reciben el nombre de "Unidireccional" (donde una familia de partes es procesada como un grupo y transferida de una estación a otra en forma íntegra), o "traslapada" respectivamente.

El ejemplo que se presenta es un caso típico de agrupación traslapada, dado que cada uno de los grupos es procesado en diferentes máquinas.

Resolviendo el problema en forma gráfica, se observa el procedimiento de manera más clara e ilustrativa. En este

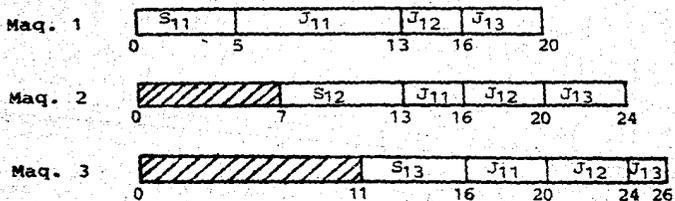
caso destaca el traslape de los grupos en las máquinas.

Las partes ashiuradas indican los tiempos muertos (ociosos) de cada máquina.

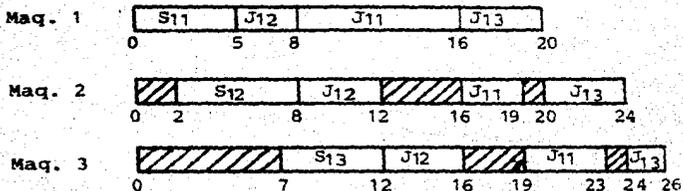
Para el grupo 1:  $i=1, k=1, \dots, 3$

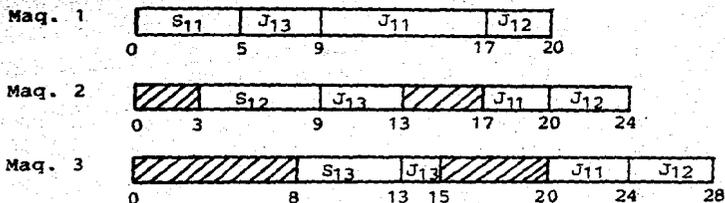
Primera etapa

Primer sorteo  $G_1 (1,2,3)$



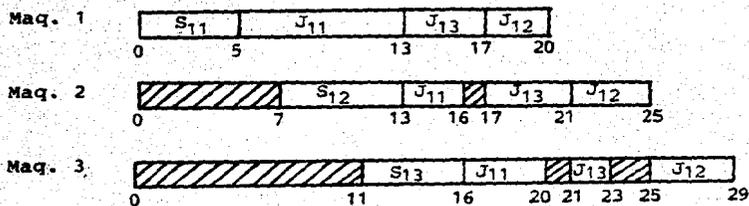
Segundo sorteo  $G_1 (2,1,3)$



Tercer sorteo  $G_1$  (3,1,2)

Para esta primera etapa el tiempo menor fue el del primer sorteo, por lo tanto, se toma como pivote y se fija el trabajo 1 en el inicio y se ordenan los trabajos 2 y 3.

## Segunda etapa

Primer sorteo  $G_1$  (1,3,2)

Para este grupo los arreglos con la menor cota resultaron ser:

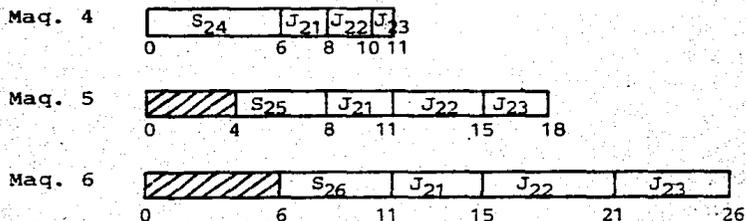
$$G_1 (1,2,3) \quad \text{y} \quad G_1 (2,1,3)$$

El siguiente paso es determinar la secuencia óptima para el grupo 2, de manera similar a la anterior.

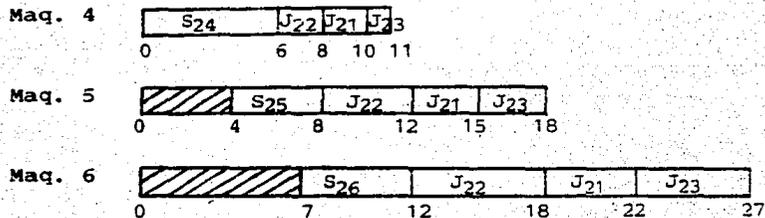
Para el grupo 2:  $i=2, k=1, \dots, 3$

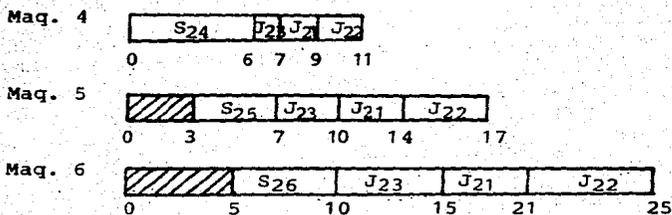
Primera etapa

Primer sorteo  $G_2 (1,2,3)$



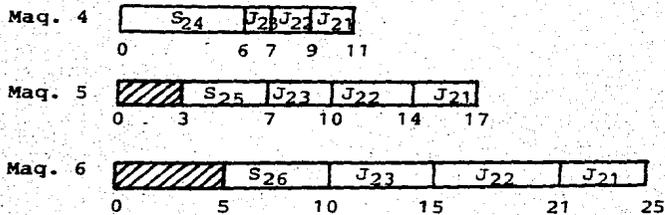
Segundo sorteo  $G_2 (2,1,3)$



Tercer sorteo  $G_2$  (3,1,2)

Tomando como pivote el tercer trabajo del tercer sorteo, se procede a la secuenciación de los trabajos restantes.

## Segunda etapa

Primer sorteo  $G_2$  (3,2,1)

Para este grupo los arreglos con la menor cota resultaron ser:

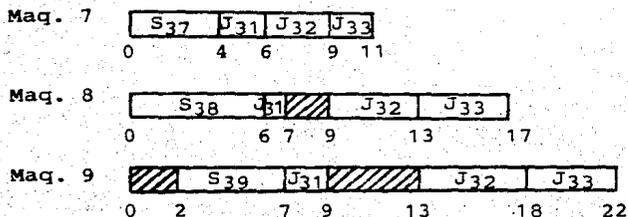
$G_2$  (3,1,2) y  $G_2$  (3,2,1)

De manera similar se procede a la secuenciación del grupo 3.

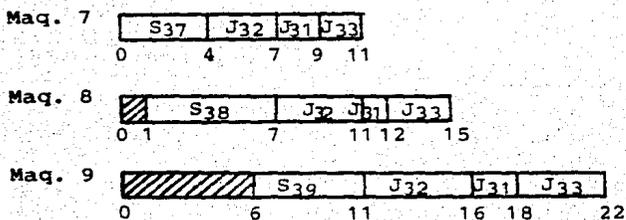
Para el grupo 3  $i=3, k=1, \dots, 3$

Primera etapa

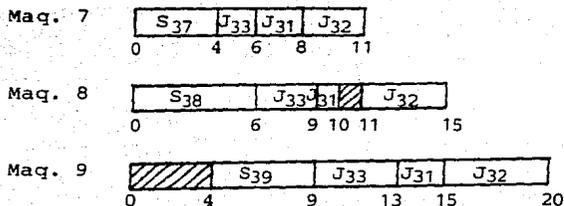
Primer sorteo  $G_3 (1, 2, 3)$



Segundo sorteo  $G_3 (3, 1, 2)$

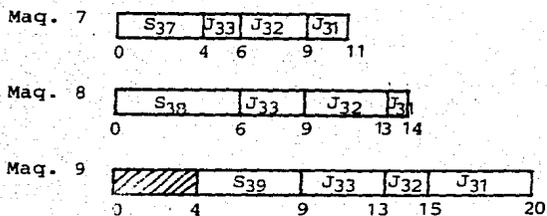


## Tercer sorteo G (3,1,2)



Tomando como pivote el trabajo 3 del tercer sorteo, se procede a ejecutar la siguiente etapa.

## Segunda etapa

Primer sorteo G<sub>3</sub> (3,2,1)

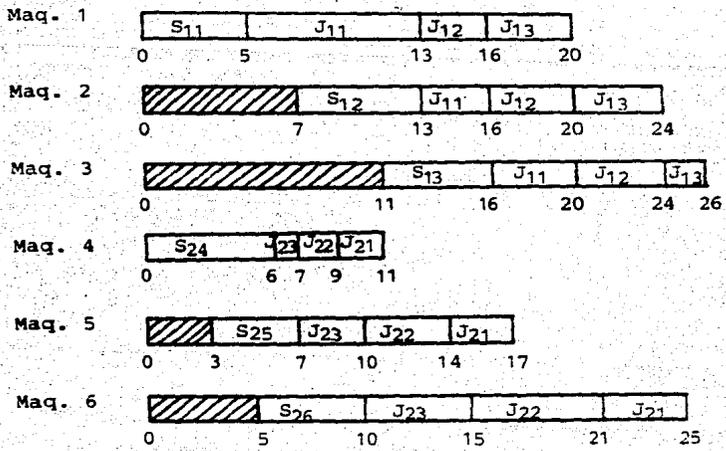
Para este grupo los arreglos con la menor cota: resultaron ser:

$$G_3 (3,1,2) \quad \text{y} \quad G_3 (3,2,1)$$

ARREGLO FINAL OPTIMO		
Grupo	Secuencia	Tiempo total (Minutos)
1	① — ② — ③	26
2	③ — ② — ①	25
3	③ — ① — ②	20

CUADRO 4. Secuenciación de trabajos

Después de haber sorteado cada uno de los grupos se procede al arreglo final, como se presenta a continuación.



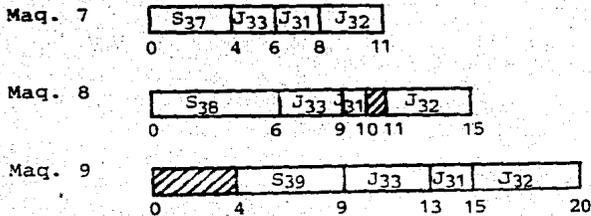


FIGURA 6. Diagrama de Gantt para Branch and Bound

En el cuadro anterior, puede observarse claramente como los tres grupos inician su proceso en forma simultánea, ocurriendo un traslape en el tiempo y sin que exista ninguna interferencia entre ellos.

Esto es lógico, pues las agrupaciones se han realizado tomando como característica distintiva el tipo de maquinado que requiere cada grupo de partes, lo cual significa que no necesariamente deben estar juntas todas las máquinas, sino que pueden formar grupos de éstas. Es importante señalar, que cuando se agrupa de acuerdo a las características geométricas del producto los tiempos de operación son mayores que en el caso anterior, dado que en el segundo generalmente se tienen pocas máquinas con una gran variedad de productos.

En la gráfica de Gantt presentada con el arreglo final se observan los tiempos muertos dentro de cada grupo; es

tos siempre se presentan a partir de la segunda máquina.

### 2.5.5 Análisis para las cargas de máquinas

El análisis de cargas de máquinas en la programación de grupos es un problema sumamente complejo y no es fácil en contrar un algoritmo adecuado para aplicaciones prácticas.

Sin embargo, existen disponibles modelos matemáticos para la carga de máquinas y problemas de análisis de productos mixtos.

La función de este modelo es maximizar el volumen total de partes a ser producidas en un límite de tiempo disponible (d) de aquí que, la función objetivo es:

$$\max Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} l_{ij} \times i_j$$

Con la siguiente constante:

$$\sum_{i=1}^M \left( \sum_{j=1}^{N_i} P_{ij} X_{ij} + S_i X_i \right) < d$$

Donde:

- d = límite de tiempo disponible
- $l_{ij}$  = tamaño del lote para  $J_{ij}$
- M = número de grupos
- N = número de trabajos en  $G_i$

$P_{ij}$  = tiempo total de producción para el trabajo  $J_{ij}$   
(min/lote)

$S_i$  = tiempo de preparación para el grupo  $G_i$  (min/  
grupo)

$X_{ij} = 0 \text{ ó } 1$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ )  
( $J = 1, 2, \dots, N_i$ )

O Si

$$\sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} = 0$$

$$X_i = 1,$$

$$\text{Si } \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} > 1$$

## 2.6 EL METODO PETROV

El método Petrov es un método heurístico para grupos de programación, que es usado para determinar la secuencia específica óptima de cada parte, también puede ser aplicado en un problema de manufactura multiproductos-multietapas.

Sin embargo, este método solamente proporciona una solución cercana a la óptima, sin llegar a serlo; el algoritmo para este método es simple y fácil de calcular, comparado con otros algoritmos heurísticos parecidos y, por supuesto, comparado con el método Branch and Bound.

### 2.6.1 Programación de grupos por el método Petrov

La planeación de la producción por grupos mediante el método Petrov se considera efectiva para un problema de programación en el manejo de materiales para lotes relativamente grandes, aunque en realidad no es un método diseñado específicamente para la programación de grupos. Una buena secuencia de trabajos en  $G_i$  puede ser obtenida como se indica a continuación.

Los tiempos de proceso para  $J_{ij}$  en  $k$  máquinas se dividen en dos componentes:

$$P'_{ij} = \sum_{k=1}^h P_{ijk} \quad \dots(12)$$

y

$$P''_{ij} = \sum_{k=h'}^k P_{ijk} \quad \dots(12a)$$

Donde:

$$h = k/2$$

$$h' = h+1$$

Donde:

$$k \text{ y } h = h' = \frac{k+1}{2},$$

Para toda  $k$  impar.

Algunas reglas para obtener una buena secuenciación de trabajos han sido desarrolladas en la planeación de la producción por grupos.

#### REGLA I

- a) Si  $P'_{ij} \leq P''_{ij}$  la secuencia de trabajos es en orden ascendente con respecto a los valores de  $P'_{ij}$  ( $P_{ij}$ )<sup>+</sup>
- b) Si  $P'_{ij} > P''_{ij}$  la secuencia de trabajos es en orden descendente con respecto a los valores de  $P''_{ij}$  ( $P''_{ij}$ )<sup>+</sup>

#### REGLA II

Las secuencias de trabajos basadas en los valores numéricos de  $P''_{ij} - P'_{ij}$  se asignan en orden descendente ( $P''_{ij} - P_{ij}$ )<sup>+</sup>

#### Casos especiales:

Si la diferencia ( $P''_{ij} - P'_{ij}$ ) arroja valores exclusivamente positivos o exclusivamente negativos, la regla I proveerá una solución única y la regla II no se aplicará.

Las reglas I y II son aplicadas a los problemas donde cada trabajo es ejecutado a través de un conjunto de máquinas u operaciones en un mismo orden. Sin embargo, cuando los trabajos son ejecutados omitiendo algunas operaciones o

trabajos, se deberán aplicar las reglas III y IV.

Estas reglas son básicamente las mismas que las I y III, respectivamente, excepto que, al aplicarlas, cada renglón en la matriz de tiempos seccionada ( $P'_{ij}$ ) y ( $P''_{ij}$ ) es promedioado.

Estos valores de tiempos promedioados ( $P'_{ij}$ ) y ( $P''_{ij}$ ) se obtienen dividiendo la matriz de tiempos seccionada de ( $P'_{ij}$ ) y ( $P''_{ij}$ ) entre el número de operaciones ejecutadas en cada matriz seccionada respectivamente.

Siguiendo el orden, para obtener una buena secuencia de grupos, el método Petrov se puede utilizar también con una ligera modificación como se indica:

Primero calculamos el tiempo de proceso del grupo  $Q_{ik}$ , mediante la ecuación (2). Considerando que  $Q_{ik}$  reemplaza a  $P_{ijk}$ , es decir:

$$Q'_i = \sum_{k=1}^h Q_{ik} \quad \text{y} \quad Q'' = \sum_{k=h'}^K Q_{ik} \quad \dots (13)$$

Y aplicando las otras reglas, se puede obtener una buena secuencia de grupos.

#### 2.6.2 Un ejemplo resuelto aplicando el método Petrov

A continuación se muestra el desarrollo de la solu-

ción para el ejemplo presentado en el punto 2.5.4 aplicando las reglas de Petrov.

Como se mencionó en la solución mediante el método de Branch and Bound (2.5.4), el orden en que se ejecute cada uno de los grupos es intrascendente, ya que éste es un ejemplo de agrupación traslapada, por esto el análisis se lleva a cabo en forma independiente para cada grupo.

Además, dado que todos los pasos son iguales para cada grupo, solamente se desarrolla el análisis en forma detallada para el primer grupo. El cuadro 5 presenta los datos básicos requeridos para la aplicación del método Petrov.

#### ANÁLISIS DEL GRUPO 1

Trabajo	M A Q U I N A		
	m1	m2	m3
J <sub>11</sub>	8	3	4
J <sub>12</sub>	3	4	4
J <sub>13</sub>	4	4	2

CUADRO 5. Datos básicos para el método Petrov

Si llamamos "A" a la matriz de tiempos de trabajo, tendremos:

$$A = \begin{vmatrix} 8 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 2 \end{vmatrix}$$

Como en este caso la matriz resulta ser de orden impar, se toman los datos de la parte central, tanto para el cálculo de  $P'_{ij}$  como para  $P''_{ij}$ .

Aplicando la ecuación (12):

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

$$P'_{ij} = \sum_{k=1}^h P_{ijk}$$

dado que  $k=3$ , y por lo tanto impar,

$$h = h' = \frac{k+1}{2}$$

de donde:

$$h = h' = \frac{3+1}{2} = 2$$

entonces:

$$P'_{ij} = \sum_{k=1}^2 P_{ijk}$$

$$P'_{ij} = \begin{vmatrix} 8 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 4 \end{vmatrix}$$

Realizando la sumatoria tenemos:

$$P'_{ij} = \begin{vmatrix} 11 \\ 7 \\ 8 \end{vmatrix}$$

Aplicando la ecuación (12a) para  $i=1, j=1, \dots, 3$

Para  $i=1, j=1, \dots, 3$

$$P''_{ij} = \sum_{k=1}^K P_{ijk}$$

Entonces

$$P''_{ij} = \sum_{k=2}^3 P_{ijk}$$

$$P''_{ij} = \begin{vmatrix} 3 & 4 \\ 4 & 4 \\ 4 & 2 \end{vmatrix}$$

Realizando la sumatoria

$$P''_{ij} = \begin{vmatrix} 7 \\ 8 \\ 6 \end{vmatrix}$$

Aplicando la regla I

a) Ordenando con respecto a  $(P'_{ij})$



b) Con respecto a  $(P''_{ij})$



Aplicando la regla II

$$(P''_{ij} - P'_{ij})$$

$$(P''_{ij} - P'_{ij}) = \begin{vmatrix} -4 \\ 1 \\ -2 \end{vmatrix}$$



Dado que para este grupo no se omite ninguna operación, las reglas III y IV resultan inoperantes.

Por lo tanto, se procede a calcular el tiempo óptimo del proceso:

Máquina	T R A B A J O		
	②	③	①
m <sub>1</sub>	3 / 3 3 / ↓	4 / 7 4 / ↓	8 / 15 8 / ↓
m <sub>2</sub>	4 / 7 4 / ↓	4 / 11 4 / ↓	3 / 18 3 / ↓
m <sub>3</sub>	4 / 11 4 / ↓	2 / 13 2 / ↓	4 / 22 4 / ↓

Tiempo total para este ordenamiento: 22 min

Máquina	T R A B A J O		
	②	①	③
m <sub>1</sub>	3 / 3 3 / ↓	8 / 11 8 / ↓	4 / 15 4 / ↓
m <sub>2</sub>	4 / 7 4 / ↓	3 / 14 3 / ↓	4 / 19 4 / ↓
m <sub>3</sub>	4 / 11 4 / ↓	4 / 18 4 / ↓	2 / 21 2 / ↓

Tiempo total del ordenamiento: 21 min

Como se puede observar, el orden que optimiza el tiempo total del proceso para este grupo es:



De manera similar se procede a determinar la secuencia óptima para cada uno de los siguientes grupos:

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro siguiente:

Grupo	Secuencia de trabajos
1	
2	
3	

CUADRO 6. Arreglo de grupos mediante el método Petrov

Una vez determinada la secuencia óptima para cada grupo se elabora el diagrama de Gantt para determinar los tiempos de operación de cada una (ver página ).

Aunque para este ejemplos los resultados fueron los mismos tanto para Branch and Bound como para Petrov, no siempre ocurre lo mismo, pues generalmente los tiempos menores son proporcionados por el primero. El único inconveniente que presenta el método de Branch and Bound es el número de

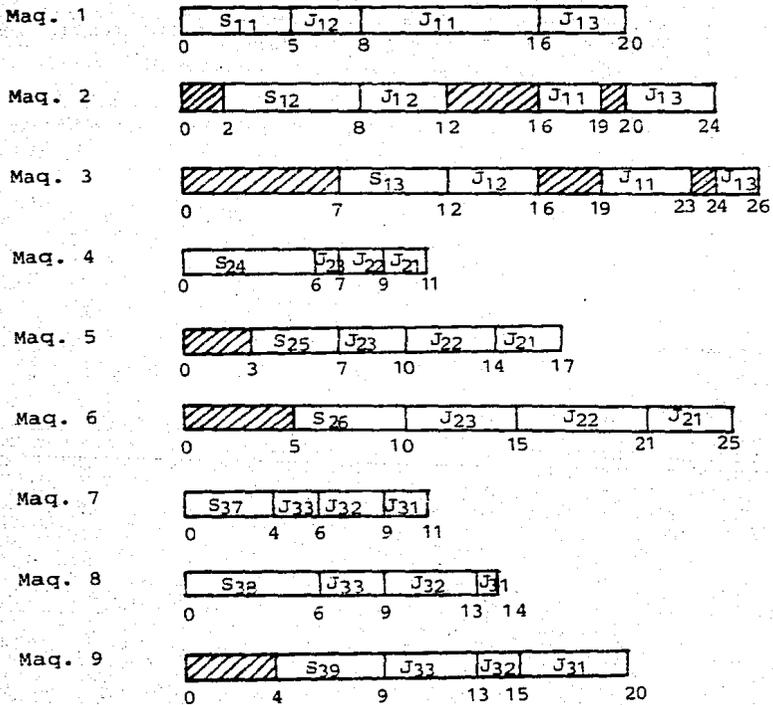


FIGURA 7. Gráfica de Gantt representando la solución óptima

iteraciones que debe realizar, consumiendo con esto mucho tiempo de máquina, lo cual no ocurre con Petrov, pues es un método heurístico que rápidamente proporciona resultados con

pocas iteraciones, sólo que por esta misma condición las secuencias determinadas no siempre son las óptimas.

**CAPITULO III****PROGRAMA, ORGANIZACION Y PROCEDIMIENTOS**

### 3.1 MANUAL DE ORGANIZACION

#### 3.1.1 Definición

El manual de organización, es el documento en el cual se expone al detalle la estructura de un sistema, señalando los elementos que la integran y la relación que existe entre ellos.

#### 3.1.2 Importancia

El uso del manual de organización dentro de la administración en general, es de singular importancia para el mejor desempeño de las funciones y actividades que se llevan a cabo dentro de cualquier sistema administrativo. La buena interpretación que se dé a los manuales de organización, permitirá a los integrantes de la empresa que los van a utilizar, comprender con un sentido común las actividades y funciones que han de llevarse a cabo, así como su importancia para el logro de los objetivos que se establezcan.

El manual tiene como una de sus funciones eliminar las barreras de comunicación, tanto ascendentes como descendentes, para que el personal no se bloquee por falsas interpretaciones que se den; asimismo, para que no improvisen procedimientos que en la mayoría de las ocasiones desperdician recursos, tiempo y esfuerzos, desvirtuando la información.

### 3.1.3 Estructura

En los párrafos siguientes se procede a describir de manera clara cada una de las partes más importantes que conforman la estructura del programa. El cuadro 7 describe los elementos principales que dan lugar a la estructura.

Estructura	D e s c r i p c i ó n
Diagrama de flujo	Forma gráfica de describir un programa. Los diagramas de flujo pueden servir al programador para visualizar la sucesión lógica de las operaciones de un programa.
Archivos	Es una colección de datos con información relacionada. Son espacios de memoria destinados al almacenamiento permanente de información.
Variables	Herramienta utilizada para asignar valores que pueden o no cambiar dentro del proceso de cálculo, aunque también pueden ser vectores o cadenas de caracteres.

CUADRO 7. Elementos que conforman la estructura de un programa

## A. DIAGRAMA DE FLUJO

Como ya se mencionó, el diagrama de flujo es una declaración de lo que hará el programa y en qué secuencia de acciones ha de llevarse a cabo. Es una especie de guía del programa.

En los diagramas de flujo, se usan casillas y líneas, siguiendo unas pocas reglas sencillas para representar un diseño de programa. Solamente se usan unas cuantas formas diferentes de casillas, así como la manera de dibujar las líneas que se unen. Estas restricciones que sólo permiten pocas estructuras de diagramas de flujo, están encaminadas a hacer que resulten fáciles de entender, mostrando con mucha claridad la relación de las partes.

Una vez que se ha dibujado correctamente un diagrama de flujo, la traducción a un programa es relativamente directa y sencilla.

### SIMBOLOS:



Un rectángulo indica cualquier operación de procesamiento.



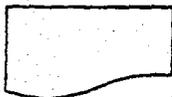
Un diamante indica una decisión. Las líneas que salen de la casilla son niveladas con los resultados que señalan cualquier camino a seguir.



Un óvalo indica el punto de comienzo o término de un programa o segmento del programa.



Un triángulo equilátero o punto de lanza significa una conexión de un lugar del programa a otro.



Una especie de hoja extendida significa la impresión en el papel de lo que se le indique al sistema

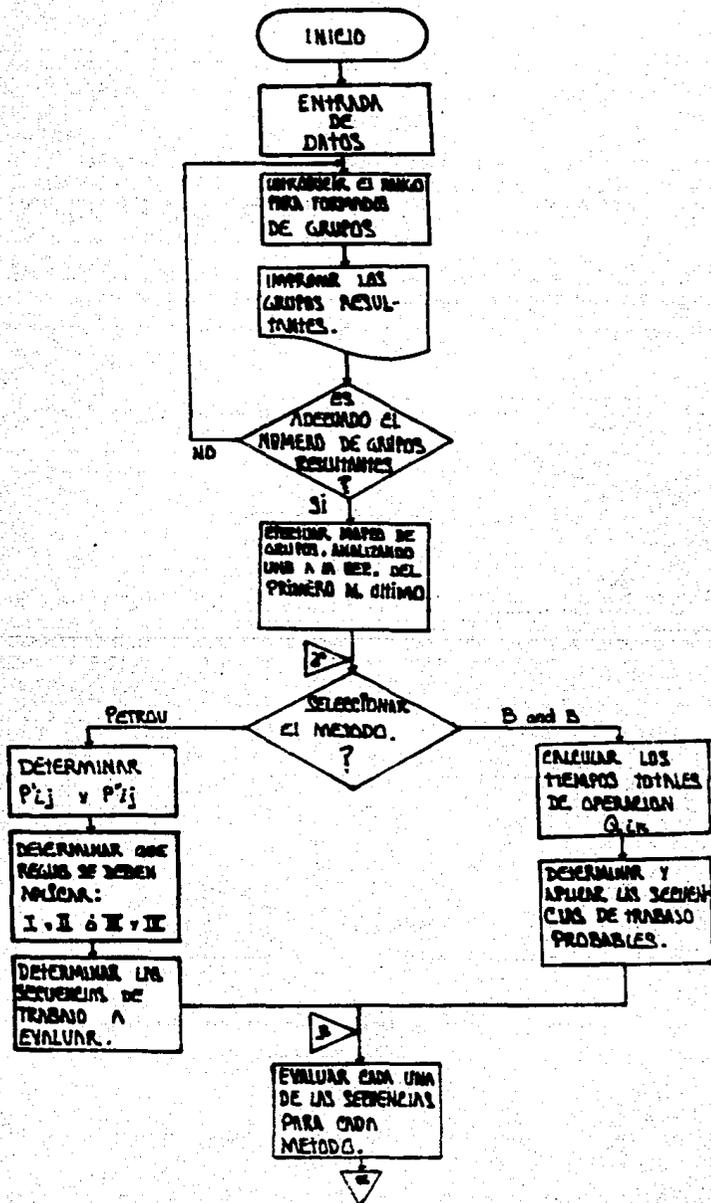
A continuación en la figura 8 se presenta el diagrama de flujo del programa desarrollado.

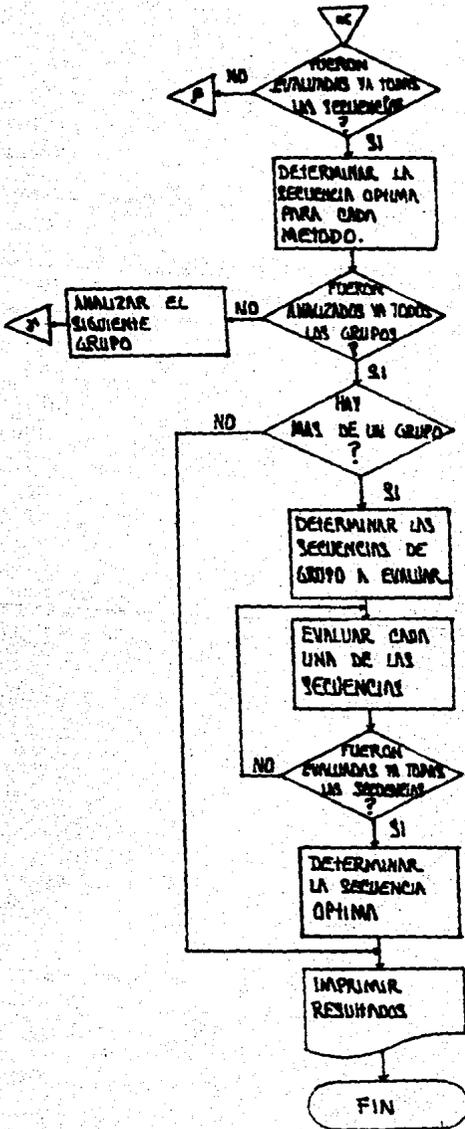
#### B. ARCHIVOS

El programa consta de dos archivos de acceso directo, etiquetados de la siguiente manera:

**MAQUINAS:** Este archivo tiene una longitud de registros de 46 bytes; está dividido en tres campos con la estructura siguiente:

Clave. Se dispone de tres bytes para este campo. En estos se debe registrar la clave de la máquina, la cual consiste de tres dígitos dispuestos de la siguiente manera: los dos primeros dígitos indican la familia a la que pertenece y el tercero describe la particularidad que la distingue.





Nombre. Se dispone de 40 bytes para este campo. Acá se anota el nombre completo de la máquina.

Tiempo. Este campo consta de 3 bytes, en los cuales se registra el tiempo de preparación de cada una de las máquinas.

**PARTES:** Este archivo tiene una longitud de registros de 54 bytes; está dividido en tres campos con la estructura siguiente:

Nupar. Para este campo se dispone de cuatro bytes que permiten registrar el número de la parte en orden consecutivo.

Sec. Este campo consta de 60 bytes y sirve para indicar las máquinas a través de las cuales pasa la parte a fabricar.

Nopar. Este campo consta de 20 bytes, en él se describe de manera clara el nombre de la parte referida al número que le corresponda.

### C. VARIABLES

Como ya se mencionó, una variable es una o más letras a la cual le es asignado un nombre y puede tomar diferentes valores a lo largo del proceso de cálculo. Esto no significa que necesariamente el valor de una variable deba ser cambiante, pues puede suceder que éste permanezca constante a

lo largo de todo un proceso.

Es importante mencionar que las variables pueden ser:

- a) De tipo numérico. Estas variables solamente aceptan números al momento de darles valor.
- b) De tipo alfanumérico. Estas variables aceptan tanto números como letras.

A continuación se enlistan las variables más importantes utilizadas en el programa.

C \$: Esta variable es del tipo alfanumérico (las variables alfanuméricas se distinguen porque siempre deben tener como último carácter un "string"). Sirve para introducir al sistema la clave de la máquina. Debe constar de tres caracteres.

N \$: A través de esta variable se introduce al sistema el nombre de la máquina cuya clave fue registrada en la variable C \$. Esta variable no debe contener más de cuarenta caracteres por cada clave.

T \$: En esta variable se almacenan temporalmente los tiempos de preparación para cada máquina. La longitud máxima de T \$ es de tres.

NU \$: Esta variable representa el número de la parte.

Este número no es más que un consecutivo asignado según el orden de llegada. Su longitud máxima puede ser cuatro.

- NO \$:** En esta variable se almacena temporalmente el nombre que describe a la parte introducida mediante la variable NU \$. El nombre de la parte no debe rebasar los veinte caracteres.
- S \$:** A través de esta variable se le introduce la información al sistema de cuáles son los centros de trabajo por los que debe pasar a parte descrita en la variable NO \$. Esto es, la variable S \$ es prácticamente la hoja de ruta de la parte en cuestión.
- L1:** Esta es una variable de tipo numérico. A través de ésta indicamos al sistema el límite en el tamaño del lote que se va a procesar. Es el límite de la capacidad de memoria.
- C (I):** Es el número de parte que se desea acceder y coincide con el número del registro en el que se encuentra almacenada.
- N1, N2:** Estas variables sirven para fijar el tamaño de los grupos, es decir, determinan el rango a considerar para cada una de las familias de par



Esta hoja de control nos permite registrar a cada una de las máquinas que integran el sistema de manera clara y sencilla.

#### Forma de llenado

CLAVE. La clave de la máquina consiste de tres dígitos dispuestos de la siguiente manera:

- Los primeros dos números indican la familia principal a la que pertenece la máquina en cuestión, de acuerdo a la distribución que se haya realizado al momento de formar la tabla "Claves de máquinas".

La tabla "Clave de máquinas" se genera asociando números a cada una de las máquinas de tal manera que se generen familias y subfamilias de éstas.

- El tercer dígito es la particularidad de la máquina que se analiza, esto es, si se trata de la familia de los tornos y el que se analiza es un torno revólver, asignamos un valor numérico al tercer dígito de tal manera que la máquina quede totalmente descrita con sólo tres números.

TIEMPO DE PREPARACION. El tiempo de preparación se anota en minutos. Cuando el tiempo es tan pequeño que no logra ocupar más de uno o dos dígitos, las ci

fras significativas se anotarán en el extremo derecho, procediendo a llenar con ceros los espacios vacíos a la izquierda de la última cifra significativa.

Es muy importante que se escriba el tiempo de preparación correcto, pues en algunas ocasiones este tiempo será una variable de decisión.

NOMBRE DE LA MAQUINA. En este renglón debe escribirse el nombre de la máquina de la manera más completa que la describa en su totalidad.

Se dispone de 40 caracteres para anotar el nombre de la máquina.



nombre que describe a la parte en cuestión. Sin embargo, dado que sólo son 20 casillas, cuando se presenten nombres que contengan más de 20 caracteres, se procederá a las abreviaturas.

Las abreviaturas mencionadas deben obedecer a una norma establecida por el usuario, de tal manera que todas manejen el mismo código.

**SECUENCIA.** La secuencia indica el orden en que se va a ma-  
quinar cada una de las partes.

La secuencia de operaciones no es más que una hoja de ruta del proceso. Los números van asociados de tres en tres. Se dispone de 60 espacios, esto es, se pueden registrar hasta 20 centros de trabajo por lo cuales pasa la parte.

**CAPITULO IV**  
**ANALISIS ECONOMICO**

#### 4.1 BENEFICIO ECONOMICO

Al implantar la Tecnología de Grupos dentro de un sistema productivo se obtienen considerables beneficios económicos.

Entre las principales ventajas que se obtienen al aplicar esta filosofía de producción figuran las siguientes:

- Reducción de los tiempos de proceso
- Utilización más eficiente de máquinas de control numérico
- Secuenciación y carga óptima de la maquinaria
- Simplificación en la programación y control de la producción
- Reducción de la existencia de materiales
- Inventarios de producto terminado y en proceso más reducidos

Todos los beneficios mencionados no se presentan en forma simultánea, sino que van apareciendo a medida que avanza el tiempo como puede apreciarse en la siguiente gráfica (Fig. 9).

El punto esencial que define si una empresa decide o no aplicar la Tecnología de Grupos, es el beneficio económico a obtener si se implanta dentro del sistema productivo.

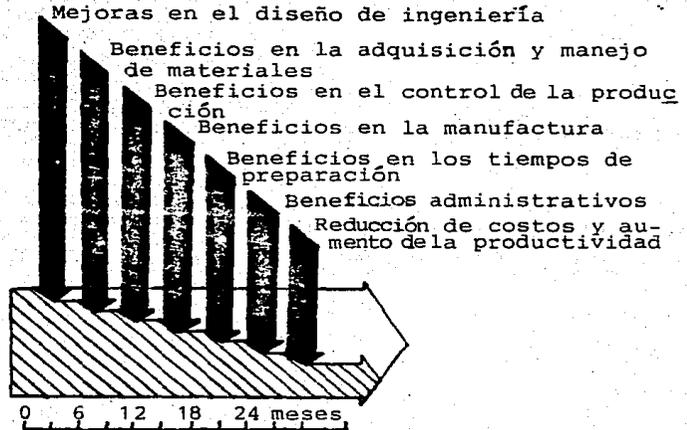


FIGURA 9. Reducción de los costos de manufactura al aplicar la Tecnología de Grupos

Es importante relacionarla con el ramo específico de la empresa a la cual se va a aplicar. Los ahorros que se obtienen al aplicar la Tecnología de Grupos son considerables, pero los resultados no son observados en un periodo corto de tiempo; las ganancias netas logradas se pueden visualizar después de implantar y dar el mantenimiento correcto al sistema.

Factores como los que se mencionan a continuación

contribuyen a justificar la aplicación de la Tecnología de Grupos.

- Ahorros obtenidos por la estandarización de diseños, dibujos, especificación de materiales, máquinas, herramientas y accesorios.
- Incremento de las utilidades derivadas de la reducción en los tiempos de preparación.
- Beneficios generados al minimizar los tiempos de maquinado debido al diseño de plantillas y adaptadores que mejoran el proceso para cualquier componente de una familia.

El ahorro económico que se obtiene, justifica la implantación de la Tecnología de Grupos dentro de un sistema productivo. Más de una fórmula y procedimiento han sido desarrollados para el análisis económico. En las secciones siguientes se presentan y comparan algunos métodos.

## 4.2 ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS

### 4.2.1 Costos del herramental por grupos

Una de las ventajas de la aplicación de la Tecnología de Grupos es la racionalización de los diseños de herramental y la reducción de los tiempos de preparación y de maquinado, que ocasiona una reducción en los costos de maqui-

nado y producción en conjunto. El análisis de costos para maquinado por grupos (plantillas y accesorios) comparado con los costos de maquinado mediante los métodos convencionales, resulta ser esencial para justificar la aplicación de la Tecnología de Grupos en la herramientación.

a) METODO CONVENCIONAL DE HERRAMENTAL

$$C_{tw_1} = \sum_{i=1}^P C_{w_1}(i)$$

donde:

$C_{w_1}$  = costo de una plantilla o accesorio, (\$)

$C_{tw_1}$  = costo real de herramientación, usando "p" diferentes plantillas o accesorios (\$)

P = número de diferentes plantillas o accesorios utilizados (o bien, el número de posibles partes diferentes a ser producidas)

b) METODO DE HERRAMENTAL POR GRUPOS

$$C_{tw_2} = \sum_{i=1}^q C_a(i) + C_{w_2}$$

donde:

$C_{w_2}$  = costo de plantillas o accesorios para un grupo (\$)

$C_{tw_2}$  = costo total para el grupo herramientado utilizando una plantilla o accesorio con "q" dife-

rentes adaptadores, (\$)

$C_a$  = costo de un adaptador, (\$)

$q$  = número de adaptadores utilizados para la producción de una familia de partes

c) COSTO UNITARIO DE HERRAMENTACION

1. Método de herramental convencional (individual)

$$C_{uL} = \frac{C_{tWL}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^P C_{wL}(i)}{N}$$

donde:

$C_{uL}$  = costo unitario del herramental, (\$/pza)

$N$  = número de partes fabricadas

2. Método de herramental por grupos

$$C_{w2} = \frac{C_{tw2}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^q C_a(i) + C_{w2}}{N}$$

donde:

$C_{w2}$  = costo unitario del herramental (\$/pza)

Los datos que se presentan a continuación en los cuadros 8 y 9 son proporcionados para establecer una comparación entre un método convencional de herramental, utilizando dispositivos tradicionales de fresado y un nuevo método de herramental por grupos, utilizando un grupo maestro de adap-

tadores y accesorios.

El costo total de herramental ( $C_{tw}$ ) y el costo unitario de herramental ( $C_u$ ) de los métodos convencionales de herramental y herramental por grupos, en relación al número de partes diferentes en la familia o grupo son calculados y presentados en el cuadro 9. El costo total de herramental y ( $C_{tw}$ ) y el costo unitario de herramental ( $C_u$ ) como una función del número de partes en la familia o grupo se presentan en forma gráfica en las figuras 10 y 11, respectivamente.

Como se puede observar en las gráficas, la tasa de incremento en el costo total de herramental mediante el método convencional, es considerablemente mayor que por el método de herramental por grupo. A medida que se incrementa el número de partes de las familias partiendo del punto de intersección, los costos unitarios del herramental del método de herramentación por grupos disminuye; mientras que el costo unitario de herramental permanece constante para el método convencional. Sin embargo, los costos unitarios de herramental después de un cierto número de familias de partes ya no disminuyen, permaneciendo constantes; esto nos indica que existe un límite superior en el cual la reducción de los costos unitarios es efectiva. Ambas gráficas nos ayudan a seleccionar el método más apropiado a ser utilizado, partiendo

de los puntos de intersección que obtenemos en ellas, de acuerdo al número de familias de partes bajo análisis.

Haciendo una comparación de dichos métodos, resulta necesario no sólo analizar los costos totales y unitarios de herramental, sino también el número de partes en la familia donde hacen intersección estos métodos. Este punto de equilibrio se puede calcular como se muestra a continuación:

P A R T E	METODO CONVENCIONAL DE HERRAMENTADO	METODO DE HERRAMENTADO POR GRUPOS
Costo de la plantilla para taladro	\$ 815.00	\$ 2,208.00
Número de plantillas requeridas	6.00	1.00
Costo de un adaptador	-	450.00
Número de adaptadores requeridos	-	5.00
Número de partes a fabricar	240.00	240.00

CUADRO 8. Datos de costos para un análisis comparativo

Numero de partes por familia	Método convencional		Método de herramientado por grupos	
	Ctw <sub>1</sub>	Cu <sub>1</sub>	Ctw <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub>
1	\$ 815.00	\$ 3.40	\$ 2,658.00	\$ 11.08
2	1,630.00	3.40	3,108.00	6.48
3	2,445.00	3.40	3,558.00	4.94
4	3,260.00	3.40	4,008.00	4.18
5	4,075.00	3.40	4,458.00	3.72
6	4,890.00	3.40	4,908.00	3.41
7	5,705.00	3.40	5,358.00	3.19
8	6,520.00	3.40	5,808.00	3.03
9	7,335.00	3.40	6,258.00	2.90
10	8,150.00	3.40	6,708.00	2.80
11	8,965.00	3.40	7,158.00	2.71
12	9,780.00	3.40	7,608.00	2.64
13	12,225.00	3.40	8,958.00	2.49
14	10,595.00	3.40	8,058.00	2.58
15	12,225.00	3.40	8,958.00	2.49
20	16,300.00	3.40	11,208.00	2.34

CUADRO 9. Ejemplo calculado para comparación de costos del herramental

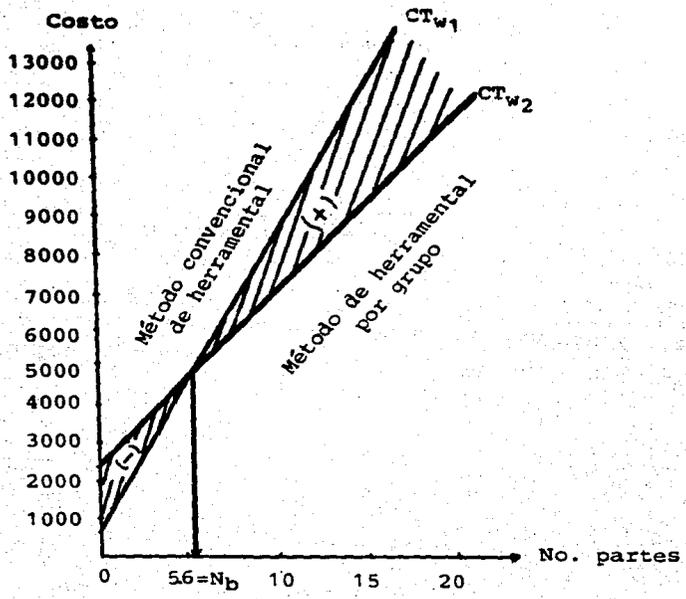


FIGURA 10. Costos totales de herramental de los métodos convencionales y por grupos

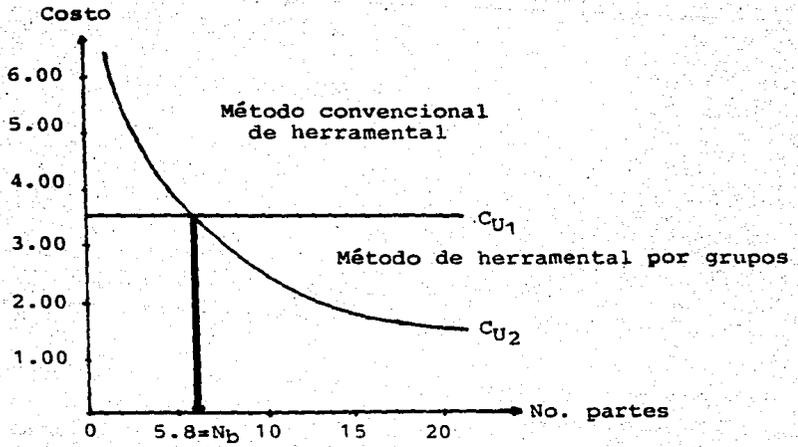


FIGURA 11. Costos unitarios de herramental de los métodos convencionales y por grupos

Cuando  $n = n_b$        $C_{tw1} = C_{tw2}$

$$p \text{ en } n_b \quad \sum_{i=1}^p C_{w1}(i) = C_{w2} + \quad q \text{ en } n_b \quad \sum_{i=1}^q C_a(i)$$

donde:

$n$  = número de partes por familia

$n_b$  = número de partes por familia en el punto de equilibrio

Por facilidad, considérese que este punto puede ser analizado utilizando el costo promedio de herramental, el cual se puede expresar de la siguiente manera:

Costo promedio de herramental:

$$\bar{C}_w = \frac{\sum_{i=1}^p C_{w1}(i)}{p}$$

Costo promedio de adaptador:

$$\bar{C}_a = \frac{\sum_{i=1}^q C_a(i)}{q}$$

El punto de intersección con respecto al número de partes en la familia ( $n_b$ ) puede calcularse como se muestra a continuación:

$$n_b = \frac{C_{w2}}{C_{w1} - C_a}$$

Sin embargo, el número de fijadores o adaptadores necesarios en el punto de equilibrio pueden ser o no igual al número de partes en la familia o grupo. Por ejemplo: si un adaptador puede ser usado para dos o más diferentes partes, el número de adaptadores necesarios será menor al número de partes en la familia. Este concepto se utiliza también para el número de accesorios "P"; en un método convencional de herramental, el número de accesorios es usualmente igual al número de las diferentes partes a ser producidas. Sin embargo, en algunos casos el número de accesorios puede ser menor que el número de diferentes partes a ser fabricadas.

Supongamos que "p" fijadores para el método convencional de herramental y un grupo de fijadores con "q" adaptadores para el método de herramental por grupos son requeridos para la producción de "n" diferentes partes en la familia. Entonces  $(n - p)$  de  $(n - q)$  representa el número de partes donde no se requiere de accesorios y adaptadores, desde que esas partes pueden ser producidas utilizando los diseñados para otras partes. Esto también es posible si partimos de que  $(n - p)$  o  $(n - q)$  partes son incluidas en el número de partes de familias en el punto de equilibrio ( $n_B$ ). Por consiguiente, el número actual de accesorios o adaptadores necesarios en el punto de equilibrio son:  $n_B - (n - p)$  o  $n_B - (n - q)$ , respectivamente. Por lo tanto, el número de partes

en el punto de equilibrio en la familia, para este caso cuando  $n \neq p$  y/o  $n \neq q$  puede ser expresado como:

$$n_b = \frac{Cw_2 + (n - p) Cw_1 - (n - q) \bar{C}_a}{(\bar{C}w_1 - \bar{C}_a)}$$

#### 4.2.2 Costos de maquinado por grupos

El maquinado por grupos es una de las características más importantes de la Tecnología de Grupos en cuanto a su aplicación. La implantación del maquinado por grupos es ventajosa desde diversos puntos de vista, y deseable para confirmar las ventajas del método de maquinado por grupos, a diferencia de otros métodos convencionales.

- (a) El costo total de maquinado para un lote único de una parte con un herramental especial individual puede ser expresado:

$$C_{tm} = C_o (T_c N_1 + T_g) + D_t$$

donde:

$C_{tm}$  = costo total de maquinado (\$)

$C_o$  = costo mano de obra (\$/min)

$T_c$  = tiempo unitario de maquinado por pieza (min/pza)

$N_1$  = tamaño del lote (número de pzas/lote)

$T_g$  = tiempo de preparación por lote (min/lote)

$D_t$  = depreciación de herramental por lote (\$/lote)

(b) El costo total de maquinado para producir "n" lotes o "n" partes diferentes en cada familia para el método convencional y para el maquinado por grupos se puede expresar como:

(i) Maquinado convencional (individual):

$$C_{tm1} = C_o \sum_{i=1}^n T_{c1}(i) N_{l1}(i) + \sum_{i=1}^n T_{s1}(i) + \sum_{i=1}^n E_{t1}(i)$$

donde:

$C_{tm1}$  = Costo total de maquinado (\$)

n = número de lotes o número de partes a ser fabricadas

$T_{c1}$  = tiempo unitario de maquinado por pieza (min/pza)

$T_{s1}$  = Tiempo de preparación por lote (min/lote o parte)

$D_{t1}$  = Depreciación promedio del herramental por lote (\$/lote o parte)

(ii) Maquinado por grupos

$$C_{tm2} = C_o \sum_{i=1}^n T_{c2}(i) N_{l2}(i) + T_{s2} + \sum_{i=1}^{n-1} T_{sa}(i) + D_{t2} + \sum_{i=1}^{n-1} D_{ta}(i)$$

donde:

$C_{tm2}$  = costo total de maquinado (\$)

h = número de partes en la familia

$T_{c2}$  = promedio del tiempo unitario de maquinado por pieza (\$/pza)

$T_{s2}$  = tiempo de preparación por lote (por una fami-

lia de partes)

$T_{sa}$  = tiempo de preparación por adaptador (min/adaptador)

$D_{t2}$  = depreciación del herramental por lote o familia de partes (\$/lote o familia de partes)

El tiempo total necesario de producción, para procesar "n" diferentes partes mediante el método convencional, puede ser definido por el tiempo de proceso de las partes y el tiempo utilizado en la colocación de accesorios necesarios para cada parte.

$$T_{m1} = \sum_{i=1}^{n_1} T_{C1}(i) N_{11}(i) + \sum_{i=1}^p T_{S1}(i)$$

donde:

$T_{m1}$  = tiempo total de producción para fabricación de un grupo de partes mediante el método convencional, min

$n_1$  = número de diferentes partes producidas

$T_{C1}$  = tiempo de fabricación por pieza, min/pza

$N_{11}$  = tamaño del lote

$p$  = número de accesorios utilizados. Generalmente,  $p=n$ , sin embargo,  $30 p \neq n$ , esto significa que  $(n-p)$  partes son procesadas consecutivamente utilizando el mismo accesorio

$T_{S1}$  = tiempo de preparación por lote, min

En el método de maquinado por grupos, el tiempo total de producción necesario para fabricar "n" partes diferentes en una familia puede ser calculado mediante el tiempo de

procesamiento de las partes, el tiempo de preparación del grupo de accesorios y el tiempo de preparación de los adaptadores utilizados para la fabricación de cada parte.

$$T_{m2} = \sum_{i=1}^{n_2} T_{c2}(i) N_{12}(i) + T_{s2} + \sum_{i=1}^q T_a(i)$$

donde:

$T_{m2}$  = tiempo de producción para la fabricación de una familia de partes mediante la Tecnología de Grupos (min)

$N_2$  = número de diferentes partes en una familia

$T_{c2}$  = tiempo unitario de proceso por pieza (min)

$N_{12}$  = tamaño del lote

$T_{g2}$  = tiempo de preparación por grupo de accesorios (min)

$q$  = número de adaptadores utilizados

$T_a$  = tiempo de preparación por adaptador (min)

#### 4.2.3 Costos de preparación por grupos

Una de las principales ventajas del método de producción por grupos sobre los métodos convencionales de producción, radica en la reducción de costos de tiempo de preparación debido a la utilización de grupos de plantillas o accesorios para cada familia de partes específica. Los costos de preparación se pueden expresar como a continuación se indica:

(a) Método convencional de herramental:

$$C_{s1} = C_o \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{n_i} T_{sij}$$

(b) Método de herramental por grupos:

$$C_{s2} = C_o \sum_{i=1}^g (T_{si} + \sum_{j=1}^{n_i} T_{saj})$$

donde:

$C_o$  = costo mano de obra (\$/min)

$g$  = número de partes por familias

$n$  = número de trabajos (parte) en el grupo  $i$  ( $G_i$ )

$T_s$  - tiempo de preparación por lote (min/lote)

$T_{sa}$  = Tiempo de preparación por adaptador (min/adaptador)

#### 4.3 CONCLUSION

De los cuadros 8 y 9 y las figuras 9, 10 y 11 podemos concluir que la Tecnología de Grupos no es costeable, cuando el número de familias es menor en el punto de equilibrio; es conveniente el uso del método convencional. Para lotes reducidos generalmente resulta más económico aplicar los métodos convencionales de producción dado que no requieren de inversiones fuertes en equipo de cómputo, plantillas, accesorios, etc. A medida que aumenta el número de partes a fabricar, el sistema convencional se vuelve más eficiente. En el caso de la Tecnología de Grupos el efecto es inverso, pues a medida que el número de componentes es mayor, los beneficios económicos aumenta por el fenómeno de las economías de escala.

Conforme el tiempo transcurre las inversiones realizadas en el sistema se van amortizando; este efecto permite a la empresa disponer de capital de trabajo para aumentar la fuerza productiva.

En general, la aplicación de la Tecnología de Grupos se justifica para un número elevado de componentes dentro de cada grupo en grandes volúmenes a fabricar en un período de tiempo.

**CAPITULO 5****CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los programas presentados han sido desarrollados para su aplicación mediante el uso de una microcomputadora. Esto provee de versatilidad y aplicabilidad, dando solución a los problemas de programación de producción en la industria.

Este paquete de programas está listo para ser utilizado en cualquier fábrica y puede ser operado por personal no calificado en el manejo de computadoras.

El problema de secuenciar trabajos, que en décadas pasadas resultaba ser sumamente complejo y tardado, mediante el uso de la computadora se vuelve sencillo, llegando al resultado óptimo en un período corto de tiempo.

Si consideramos que los lenguajes de programación es tán teniendo mejoras continuas y sabiendo que el BASIC tiende a la obsolescencia, es lógico pensar que en un futuro no lejano estos programas sean presentados en pocas líneas y de manera sencilla.

Considerando que la pequeña y mediana industria de nuestro país atraviesa por una etapa crítica de transición, es necesaria la implantación de técnicas de programación que mejoren la eficiencia e incrementen la productividad, reduciendo los costos de fabricación. La ventaja que se logra al formar los grupos de programación, es que todas las par-

tes que pertenecen a una familia requieren de maquinaria, herramienta y accesorios similares, lo que permite que éstas también puedan integrarse en forma de células, capaces de procesar cualquier componente dentro de una familia, pudiéndose entonces reducir en forma significativa los tiempos de preparación entre operaciones y los tiempos muertos cuando algunas máquinas están en reposo. Esto justifica el uso de máquinas de control numérico.

El diseño de grupos de componentes con rutas de operaciones similares, da la facilidad de que una planta pueda distribuirse en su totalidad por células a manera de los más modernos centros de maquinado, tales como robots industriales, lo que redundará indudablemente en una reducción de los tiempos de transportación y en un aumento en la productividad de la empresa.

La implantación de esta técnica, presenta costos elevados al inicio de su operación, los cuales generalmente son mayores que los beneficios. El sistema tendrá que ser rentable al poco tiempo, y más aún si el número de componentes que integran una familia aumenta. Esto se debe a que las herramientas, plantillas y accesorios pueden ser utilizados para procesar un gran número de componentes similares.

En la introducción de la Tecnología de Grupos a un

sistema productivo pueden surgir diversos problemas administrativos que deben ser visualizados con anterioridad. Esta técnica al igual que cualquier otra, resulta inoperante si no cuenta con la aceptación y, por lo tanto, la colaboración del personal operativo. Para ello es importante informar de manera adecuada los beneficios que pueden obtener; si consideramos que un grupo pequeño de trabajadores es asignado a una familia de partes procesadas en un grupo de máquinas la supervisión tendrá un control mayor del proceso, elevando considerablemente tanto la calidad como la productividad y con ello la moral de los trabajadores.

Debido a la similitud de características de las partes que integran cada grupo, el trabajador se familiariza con las partes mismas y, por lo tanto, con el proceso. Comparado con los métodos tradicionales, éste presenta notables mejoras en cuanto a eficiencia y calidad de producción.

Las técnicas de grupos de programación se han introducido para determinar al mismo tiempo la secuencia óptima de trabajos y grupos, minimizando el tiempo total del proceso. El método de Branch and Bound fue comparado con el de Petrov, el cual proporciona una solución razonable con mínimos recursos de cómputo. La decisión entre utilizar Branch and Bound o Petrov radica en la disponibilidad de los recursos mencionados.

El cuadro siguiente muestra las características más importantes, que ayudan al usuario a tomar la decisión más favorable, de acuerdo a las condiciones bajo las cuales se aplique.

### TECNOLOGIA DE GRUPOS

M E T O D O S		
	BRANCH AND BOUND	P E T R O V
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona la solución óptima</li> <li>- A mayor volumen menor costo unitario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo para bajos volúmenes</li> <li>- Método sencillo</li> <li>- Proporciona soluciones rápidas</li> <li>- Consume poca memoria</li> </ul>
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método muy complejo</li> <li>- Muy tardado</li> <li>- Requiere mucha capacidad de memoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No da la solución óptima</li> <li>- Alto costo para altos volúmenes</li> </ul>

CUADRO 10. Elementos de decisión

Recordando que ambos métodos son los que mejor aprovechan la Tecnología de Grupos, con la finalidad de proporcionar la secuencia óptima de proceso, y con ello una reducción de costos, incremento de la eficiencia y mejora de la calidad del producto.

## RECOMENDACIONES

Del cuadro 10, obtenemos las siguientes recomendaciones.

Se recomienda aplicar el método Branch and Bound cuando:

- a) El volumen de partes a procesar sea elevado. Esto se debe a que se requiere de una fuerte inversión inicial en sistemas computacionales.
- b) Se requiera de la solución óptima.
- c) Los tipos de partes sean muy variados.

Se recomienda aplicar el método Pretov cuando:

- a) El volumen de partes a procesar sea reducido.
- b) No se cuente con mucho capital para invertir en sistemas de cómputo.
- c) Se requiera de soluciones rápidas, sin importar que éstas no sean las óptimas.

Es conveniente también hacer las adaptaciones o modificaciones de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Se recomienda también consultar cualesquiera de los textos que se mencionan en la bibliografía que aparece en

las páginas subsiguientes para tener un panorama más claro de las restricciones que puede presentar el método elegido.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bain, David. "Productividad". Edit. McGraw-Hill (1985).
2. Buffa y Taubert. "Sistemas de Producción e Inventario". Edit. Limusa (1981).
3. Burbidge, John. "Production Flow Analysis". Institution of Production Engineers' Journal, London, Vol. 42.No. 12 (1963).
4. DiMatteo C. J. José. "Apuntes de Diseño de Sistemas Productivos". F. I. UNAM (1982).
5. Gottfried, Byron S. "Programación Basic". Edit. McGraw-Hill (1983).
6. Graham, Kellog. "Preparación del Manual de Oficina". Edit. Reverté (1962).
7. Ham, Inyong. "Group Technology Applications for Higher Manufacturing Productivity". University Park, Pa. 16802 USA.
8. Ham, Inyong. "Work-Shop Manual for Group Technology Seminar". División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería. UNAM (1981).
9. Hitomi, Katsundo and Ham, Inyong. "Operations Scheduling for Group Technology Applications". Cirp Annals, vol. 25, Hallway Ltd., Bern, Switzerland (August 1976).
10. Jarquín M., Angel. "El Manual de Organización en una Empresa Fotolitográfica Pequeña". Tesis Profesional, UNAM (1978).

11. Kazanas, H. C., Baker, Glenn E., Gregor, Thomas G. "Procesos Básicos de Manufactura". Edit. McGraw-Hill (1983).
12. Morales R., Ismael, Castilla C. César A., Pérez A. Marcela L. "Tecnología de Grupos: una nueva técnica de producción". Tesis Profesional, UNAM (1984).
13. Tarkin, Anthony J., Blank Leland D. T. "Ingeniería Económica". Edit. McGraw-Hill (1983).
14. Taylor, James F. and Ham, Inyong. "The Use of a Micro Computer for Group Scheduling". The Pennsylvania State University, University Park, P. A.
15. Taylor, Frederick. "Principios de la Administración Científica". Edit. Herrero (1961).
16. Thierauf Robert J., Grosse Richard A. "Toma de Decisiones por medio de Investigación de Operaciones". Edit. Limusa (1982).
17. West Churchman C. "El Enfoque de Sistemas". Edit. Diana. (1984).

ANEXO A  
PROGRAMAS

```

10 CLS
20 COLOR (13)
30 LOCATE 5,10:PRINT "PROGRAMA REALIZADO POR : "
40 LOCATE 10,25 : PRINT "MARTINEZ CARBONELL GONZALO"
50 LOCATE 17,25 : PRINT "MOGUEL GOMEZ ALEJANDRO"
60 LOCATE 14,25 : PRINT "OCAMPO RODRIGUEZ AMALIO AGUSTO"
70 LOCATE 18,25 : PRINT "RUIZ CRUZ VILLERMAN"
80 PRINT : PRINT : COLOR (2)
90 LOCATE 22,35:PRINT "PARA CONTINUAR OPRI.A " ; COLOR (13) : PRINT "< ENTER >";
   :COLOR (2);INPUT";R$
100 IF AAA=.0001 THEN 10 ELSE 110
110 REM APERTURA DE ARCHIVOS
120 CLS : COLOR(13)
130 PRINT:PRINT:PRINT"
140 PRINT:PRINT:PRINT"
150 PRINT:PRINT:PRINT"
160 PRINT:PRINT:PRINT"
170 PRINT:PRINT:PRINT"
180 LOCATE 20,40:INPUT"
190 COLOR(2).
200 IF R=1 OR R=2 OR R=3 OR R=4 THEN GOTO 210 ELSE GOTO 120
210 ON R GOTO 220,450,490,8660
220 OPEN "R".R1."MAQUINAS.TXT",46
230 FIELD R1,3 AS CLAVE$,40 AS NOMBRE$,3 AS TIEMPRE$
240 CLS
250 PRINT "PARA TERMINAR DE INTRODUCIR DATOS TECLEE <.99 >"
260 PRINT : PRINT
270 INPUT " DAME LA CLAVE DE LA MAQUINA " ; C$
280 PRINT : PRINT : IF C$=".99" THEN GOTO 430
290 IF LEN(C$)<>3 OR C$="" THEN PRINT "CLAVE ERRONEA":GOTO 240
300 GET R1,VAL(C$)
310 CC$=CLAVE$ : NN$=NOMBRE$ : TT$=TIEMPRE$
320 IF VAL(NN$)=0 OR VAL(TT$)=0 THEN GOTO 370
330 CLS : COLOR (13) : LOCATE 5,10 :
PRINT"ESTE REGISTRO ESTA OCUPADO CON LOS SIGUIENTES DATOS" : COLOR (2)
340 LOCATE 10,10 : PRINT"CLAVE DE LA MAQUINA " ; CC$ : LOCATE 13,10 :
PRINT"NOMBRE DE LA MAQUINA " ; NN$ :
LOCATE 16,10 : PRINT"TIEMPO DE PREPARACION " ; TT$
350 LOCATE 20,20 : PRINT"DESEAS MODIFICARLO " ; COLOR (13) : PRINT" S / N &
; COLOR (2) : INPUT";R$
360 IF R$<>"S" THEN CLOSE R1 : GOTO 8000 ELSE GOTO 370
370 INPUT " DAME EL NOMBRE DE LA PIEZA " ; N$
380 PRINT : PRINT
390 INPUT " DAME EL TIEMPO DE PREPARACION DE LA MAQUINA " ; T$
400 LSET CLAVE$=C$ : LSET NOMBRE$=N$ : LSET TIEMPRE$=T$
410 PUT R1,VAL(C$)
420 GOTO 240
430 CLOSE R1
440 GOTO 120
450 OPEN "R".R2."PARTES.TXT",54
460 FIELD R2,4 AS NUPAR$.30 AS SEC$.20 AS NOPAR$

```

```

470 CLS
480 PRINT "PARA TERMINAR DE INTRODUCIR DATOS TECLEE <.999>"
490 PRINT :PRINT
500 INPUT "          NUMERO DE PARTE < 4 DIGITOS > ":N$
510 PRINT : PRINT : IF N$="."999" THEN GOTO 670
520 IF LEN(N$)<>4 OR N$="" THEN PRINT "CLAVE ERRONEA":GOTO 470
530 GET A2,VAL(N$)
540 CC$=NUPAR$ : NN$=NOPAR$ : TT$=SEC$
550 IF VAL(NN$)=0 OR VAL(TT$)=0 THEN GOTO 610
560 CLS : COLOR (13) : LOCATE 5,10 :
PRINT"ESTE REGISTRO ESTA OCUPADO CON LOS SIGUIENTES DATOS" : COLOR (2)
570 LOCATE 10,10:PRINT"NUMERO DE PARTE          ":CC$ : LOCATE 13,10 :
PRINT"NOMBRE DE LA PARTE          ":NN$ : LOCATE 16,10 :
PRINT"SECUENCIA DE OPERACION ":TT$
580 LOCATE 20,20 : PRINT"DESEAS MODIFICARLO " : : COLOR (13) : PRINT" S / N &
: : COLOR (2) : INPUT":R$
590 IF R$<>"S" THEN CLOSE A2 : GOTO 6000 ELSE GOTO 600
600 CLS : PRINT : PRINT
610 INPUT "          NOMBRE DE LA PARTE":N0$
620 PRINT :PRINT
630 INPUT "          SECUENCIA DE OPERACIONES":S$
640 LSET NUPAR$=N$ : LSET SEC$=S$ : LSET NOPAR$=NO$
650 PUT A2,VAL(N$)
660 GOTO 470
670 CLOSE A2
680 GOTO 120
690 OPEN "R",A2,"PARTES.TXT",54
700 FIELD A2,4 AS NUPAR$,30 AS SEC$,20 AS NOPAR$
710 CLS : LOCATE 20,30 : PRINT"EL NUMERO DE PARTES A PROLESTAR DEBE SER":
LOCATE 21,30 : PRINT"MENOR O IGUAL A < ": : COLOR (13):PRINT"56": :
COLOR (2):PRINT" > ": : INPUT":L1
720 COLOR(13)
730 IF L1 > 67 THEN CLS : LOCATE 20,30 : PRINT "EL NUMERO DE PARTES DEBE SER"
LOCATE 21,30 : PRINT "MENOR O IGUAL AL INDICADO" :
FOR I=1 TO 2000 : NEXT I : COLOR(2) : GOTO 710
740 COLOR(2)
750 CLS
760 DIM C(L1),O$(L1),P$(L1),B$(L1,L1),B1$(L1,L1),.22$(L1,L1),O1$(L1)
770 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
780 J=4 : J1=4 : R=4
790 FOR I=1 TO L1
800 J=J+1 : R=R+1 : IF L1 < 11 THEN GOTO 850
810 IF R > 12 THEN J1=J1+1 ELSE GOTO 850
820 IF J1=15 THEN J1=5
830 LOCATE J1,15 : PRINT "
"
840 IF J=15 THEN J=5
850 LOCATE J,15 : PRINT I;" ) .- " : : LOCATE J,25 :
INPUT " NUMERO DE PARTE":C(I)
860 GET A2,C(I)
870 O$(I)=SEC$ : P$(I)=NOPAR$

```

```

880 IF VAL(O*(I))=0 THEN LOCATE 20,35 : COLOR(13) : PRINT
"EL REGISTRO NUMERO " : C(I) : " NO EXISTE" : GOTO 890 ELSE GOTO 900
890 FOR I1=1 TO 2000:NEXT I1 : COLOR(2) : LOCATE 20,35:PRINT"
": LOCATE J,44 : PRINT " " : GOTO 850
900 NEXT I
910 CLOSE K2
920 FOR J=1 TO L1
930 FOR I=1 TO 20
940 O1*=MID$(O*(J),I,1)
950 IF O1*=" " THEN O1*(J)=MID$(O*(J),I,I-1):GOTO 970
960 NEXT I
970 NEXT J
980 FOR J=L1 TO 0 STEP -1
990 FOR I=1 TO J-1
1000 IF VAL(RIGHT$(C(I),2))>VAL(RIGHT$(O1*(I+1),2)) THEN W#=O1*(I) :
O1*(I)=O1*(I+1):O1*(I+1)=W#:W#=P*(I):P*(I)=P*(I+1):P*(I+1)=W#:
W=C(I):C(I)=C(I+1):C(I+1)=W
1010 NEXT I
1020 NEXT J
1030 N1=VAL(RIGHT$(O1*(1),2))
1040 CLS : LOCATE 15,1:PRINT "DAME EL VALOR DEL INCREMENTO DEBE SER MAYOR O IGUAL
A " : LOCATE 15,70 : INPUT:N2
1050 IF N2 < 1 THEN GOTO 1040
1060 G=1:NN=0:NT=0:I1=1
1070 FOR I=1 TO L1
1080 IF VAL(RIGHT$(O1*(I),2))<=N1 THEN NN=NN+1:B*(G,NN)=O1*(I):B1*(G,NN)=
P*(I):B2(G,NN)=C(I):GOTO 1090 ELSE GOTO 1100
1090 NEXT I
1100 IF NN=0 THEN N1=N1+N2 : I1=I : GOTO 1070
1110 NN(G)=NN:NT=NN+NT:NN=0:N1=N1+N2:I1=I
1120 IF NT>L1 THEN G=G+1:GOTO 1070 ELSE GG=G:GOTO 1130
1130 GG=G
1140 FOR G=1 TO GG
1150 FOR PP=NN(G) TO 0 STEP -1
1160 FOR NN=1 TO PP-1
1170 IF LEN (B*(G,NN))<LEN (B*(G,NN+1)) THEN B3*=B*(G,NN) :
B*(G,NN)=B*(G,NN+1):B*(G,NN+1)=B3*:B3*=B1*(G,NN):B1*(G,NN)=B1*(G,NN+1)
: B1*(G,NN+1)=B3*:B3*=B2(G,NN):B2(G,NN)=B2(G,NN+1):B2(G,NN+1)=B3
1180 NEXT NN
1190 NEXT PP
1200 NEXT G
1210 FOR G=1 TO GG
1220 FOR PP=NN(G) TO 0 STEP -1
1230 FOR NN=1 TO PP-1
1240 IF LEN(B*(G,NN)) = LEN(B*(G,NN+1)) AND B2(G,NN) > B2(G,NN+1)
THEN SWAP B2(G,NN),B2(G,NN+1) : SWAP B1*(G,NN),B1*(G,NN+1) :
SWAP B*(G,NN),B*(G,NN+1)
1250 NEXT NN
1260 NEXT PP
1270 NEXT G

```

```

1280 CLS : PRINT : PRINT : PRINT
1290 FOR G=1 TO GG
1300   FOR NN=1 TO NN(G)
1310     PRINT B2(G,NN),B1*(G,NN),B*(G,NN)
1320   NEXT NN
1330 PRINT : PRINT
1340 NEXT G
1350 INPUT"QUIERES PROBAR CON OTRO INCREMENTO ; S / N <";R*
1360 CLS
1370 IF R*="S" THEN LOCATE 14,1 : PRINT "DAME EL NUMERO DE MAQUINAS DEL PRIMER
GRUPO, ESTE DEBE SER MAYOR O IGUAL A
": VAL(RIGHT*(O1*(1),2));" > ":LOCATE 15,50:INPUT";N1 : ELSE GOTO 2000
1380 IF N1<VAL(RIGHT*(O1*(1),2)) THEN PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
"EL VALOR DEBE DE SER ..MAYOR O IGUAL .... AL INDICADO" :
GOTO 1370 ELSE GOTO 1040
2000 CLS : COLOR(15)
2010 LOCATE 5,20 : PRINT"METODOS DISPONIBLES"
2020 LOCATE 10,10 : PRINT"1).- BRANCH AND BOUND"
2030 LOCATE 13,10 : PRINT"2).- PETROV"
2040 LOCATE 20,40 : INPUT"OPCION ";R : CLS : COLOR(2)
2050 IF R=1 OR F=2 THEN GOTO 2060 ELSE GOTO 2000
2060 ON R GOTO 3000,7000
3000 REM CALCULO DE Q(I)
3010 FOR G=1 TO GG
3020   LI=VAL(MID*(B*(G,1),4,3)) : LS=VAL(MID*(B*(G,1),4,3))
3030   FOR NN=1 TO NN(G)
3040     FOR I=1 TO LEN(B*(G,NN)) STEP 6
3050       Q(G,VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)))=0
3060       IF VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)) > LS THEN LS=VAL(MID*(
B*(G,NN),I+3,3))
3070       IF VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)) < LI THEN LI=VAL(MID*(
B*(G,NN),I+3,3))
3080     NEXT I
3090   NEXT NN
3100   LI(G)=LI : LS(G)=LS
3110 NEXT G
3120 OPEN "R",R1,"MAQUINAS.TXT",46
3130 FIELD R1,3 AS CLAVE*,40 AS NOMBRE*,3 AS TIEMPRE*
3140 FOR G=1 TO GG
3150   FOR NN=1 TO NN(G)
3160     FOR I=1 TO LEN(B*(G,NN)) STEP 6
3170       Q(G,VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)))=VAL(MID*(B*(G,NN),I,3))+
Q(G,VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)))
3180     NEXT I
3190   NEXT NN
3200   FOR M=LI(G) TO LS(G)
3210     IF Q(G,M)=0 THEN 3250
3220     GET R1,M
3230     T=VAL(TIEMPRE*)
3240     Q(G,M)=Q(G,M)+T
3250   NEXT M

```

```

3260 NEXT G
3270 CLOSE #1
3280 COLOR (13) : PRINT :
PRINT"TIEMPO TOTAL DE LOS GRUPOS EN LAS DIFERENTES MAQUINAS"
3290 PRINT : PRINT
3300 COLOR (2)
3310 FOR G=1 TO GG
3320   FOR M=LI(G) TO LS(G)
3330     IF Q(G,M)=0 THEN GOTO 3350
3340     PRINT "Q (";G;",";M;")";TAB(20)"es igual a";TAB(40) Q(G,M) ;
TAB(53) "minutos"
3350   NEXT M
3360 NEXT G
3370 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
4000 REM ANALISIS DE REDES
4010 FOR G=1 TO GG
4020 REM HACE BLANCOS LOS VECTORES DE TRABAJOS QUE SE VAN A UTILIZAR
4030 FOR NN=1 TO NN(G)
4040   FOR I=1 TO LEN(B$(G,NN)) STEP 4
4050     M$(VAL(MID$(B$(G,NN),I+4,2)))=""
4060     MOSO$(VAL(MID$(B$(G,NN),I+4,2)))=""
4070     MR$(VAL(MID$(B$(G,NN),I+4,2)))=""
4080   NEXT I
4090 NEXT NN
4100 REM VECTOR DE TRABAJOS EN MAQUINA (X)
4110 FOR NN=1 TO NN(G)
4120   FOR I=1 TO LEN(B$(G,NN)) STEP 6
4130     K=VAL(MID$(B$(G,NN),I+4,2))
4140     NNG=100+NN : GNN$=RIGHT$(STR$(NNG),2)
4150     M$(K)=M$(K)+GNN$+MID$(B$(G,NN),I,3)
4160   NEXT I
4170 NEXT NN
4180 REM VECTOR DE MAQUINAS ORDENADAS DE MENOR A MAYOR
4190 S$=""
4200 FOR M=LI(G) TO LS(G)
4210   IF M$(M)="" THEN GOTO 4230
4220   C$=STR$(100+M)*1000 : S$=S$+RIGHT$(C$,5)
4230 NEXT M
4240 REM BLANQUEADO DE LOS VECTORES DE TRABAJOS EN LAS DIFERENTES MAQUINAS
4250 FOR J=1 TO LEN(S$) STEP 5
4260   M$="" : M$=VAL(MID$(S$,J,2))
4270   FOR I=1 TO NN(G)
4280     FOR K=1 TO LEN(S$) STEP 5
4290       IF VAL(MID$(M$(M),K,2))=I THEN M$=M$+MID$(M$(M),K,5) :
GOTO 4320
4300     NEXT K
4310     GH$=RIGHT$(STR$(100000!),5) : M$=M$+GH$
4320   NEXT I
4330 IF LEN(M$) = (NN(G)*5) THEN GOTO 4370
4340 FOR K=1 TO (NN(G)*5-LEN(M$(M))) STEP 5
4350   M$=M$+GH$

```

```

4360     NEXT K
4370     M*(M)=M#
4380     MR*(M)=M#
4390     NEXT J
4400     REM OBTENCION DEL VECTOR DE TODOS LOS TRABAJOS EN EL GRUPO
4410     S0*(0)=" "
4420     FOR I=1 TO NN(G)
4430         GL#=RIGHT*(STR$( (100-I)*1000 ),5) : S0*(0)=S0*(0)+GL#
4440     NEXT I
4450     SL#=""
4455     FOR I=LI(G) TO LS(G)
4470         IF M*(I)=" " THEN GOTO 4490
4480         SL#=SL#+RIGHT*(STR$( (100+I)*1000 ),5)
4490     NEXT I
4500     S#="SL#"
4510     S0F#="" : NN1=NN/G : JJJ=1 : SR#=S0*(0) : S0S0#=""
4520     FOR I=1 TO NN1*5 STEP 5
4530         IF I > I THEN J=I-(J*4) ELSE J=I
4540         S0*(J)=MID$(SR#,I,5)+MID$(SR#,I-(I-1),I-1)+
            MID$(SR#,I-5,(NN1G)*5 - (I+4))
4550         S0*(J)=S0S0#+S0*(J)
4560         FOR K=1 TO LEN(S#) STEP 5
4570             M#VAL(MID$(S#,K,2))
4580             MC*(M)=MID$(MR*(M), (L,5)+MID$(MR*(M),I-(I-1),I-1)+
                MID$(MR*(M),I+5,(NN1G)*5 - (I+4)))
4590         NEXT K
4600         FOR K=1 TO LEN(S#) STEP 5
4610             N#VAL(MID$(S#,K,2))
4620             MC*(M)=MOS0*(M)+MC*(M)
4630         NEXT K
4640         REM COMPARACION DE TRABAJOS
4650         FOR N1=1 TO LEN(S#) STEP 5
4660             M#VAL(MID$(S#,K1,3)) : MA#="" : MA#0
4670             FOR K2=1 TO LEN(S0*(0)) STEP 5
4680                 IF K1=1 THEN MA#MA#+VAL(MID$(MC*(M),K2+2,3)) : MA1#=STR$(1000+MA#
                    ) : MA1#=RIGHT*(MA1#,3) : MA3#=MID$(MC*(M),K2,2) : GOTO 4720
4690                 IF K2=1 THEN MA#VAL(MID$(MC*(L),K2+2,3))+VAL(MID$(MC*(M),
                    K2+2,3)) : MA1#=STR$(1000+MA#) : MA1#=RIGHT*(MA1#,3) :
                    MA3#=MID$(MC*(M),K2,2) : GOTO 4720
4700                 IF MA# = VAL(MID$(MC*(L),K2+2,3)) THEN
                    MA#MA#+VAL(MID$(MC*(M),K2+2,3)) : MA1#=STR$(1000+MA#) :
                    MA1#=RIGHT*(MA1#,3) : MA3#=MID$(MC*(M),K2,2) : GOTO 4720
4710                 MA#VAL(MID$(MC*(L),K2+2,3))+VAL(MID$(MC*(M),K2+2,3)) :
                    MA1#=STR$(1000+MA#) : MA1#=RIGHT*(MA1#,3) :
                    MA3#=MID$(MC*(M),K2,2)
                    MA#MA3#+MA1#
4720             NEXT K2
4730             MC*(M)=MA#
4740             L#M
4750         NEXT N1
4760     NEXT I
4770     T*(J)=VAL(MA1#) : S0F*(J)=S0*(J) : S0*(J)=MA#

```

```

4730 NEXT I
4750 REM OBTENCION DE LA COMBINACION DE TIEMPO MENOR
4800 FOR JJ=NN(G) TO 0 STEP -1
4810   FOR K=1 TO JJ-1
4820     IF T(K) > T(K+1) THEN T(K)=T(K+1) : SO*(K)=SO*(K+1) :
       SO*(K)=SO*(K+1)
4830   NEXT K
4840 NEXT JJ
4850 TT(G)=T(1) : SO*(G)=SO*(1) : SSO*(G)=SO*(1) : SOFG*(G)=SOFG*(1)
4860 REM FIJACION DE LA PRIMERA MAQUINA DE SECUENCIA OPTIMA
4870 SOF*=SOF*+MID*(SO*,JJJ,5) : JJJ=JJJ+5
4880 IF LEN(SOF*)=LEN(SO*(G))-5 OF NN(G)=1 THEN GOTO 5010 ELSE NN1=NN1-1
4890 FOR K=1 TO LEN(S*) STEP 5
4900   M=VAL(MID*(S*,K,2)) : P=VAL(MID*(SOF*,LEN(SOF*)-4,2)) :
       P=(P*5)-4
4910   MODO*(M)=MOSO*(M)+MID*(M*(M),P,5)
4920 NEXT K
4930 SOSO*(M)=SOSO*(M)+MID*(SO*(G),P,5)
4940 FOR L=1 TO LEN(S*) STEP 5
4950   M=VAL(MID*(S*,L,2))
4960   N1=VAL(MID*(SO*(1),1,2)) : K2=LEN(S*)-(L1*5)
4970   MRR*(M)=MID*(M*(M),1,(K1-1)*5)+MID*(M*(M),(K1*5)+1,K2)
4980 NEXT L
4990 SRS*=MID*(SO*(G),1,(K1-1)*5)+MID*(SO*(G),(K1*5)+1,K2)
5000 GOTO 4820
5010 REM ADICION DE TIEMPO DE PREPARACION
5020 OPEN "R": R1="MAQUINAS.TXT",45
5030 FIELD R1,3 AS CLAVE$,40 AS NOMBRES$,3 AS TIEMPOS
5040   GET R1,1(G)
5050   T=VAL(TIEMPOS)
5060 CLOSE R1
5070 TT(G)=TT(G)+T : SSO*(G)="T"+RIGHT*(STR*(1000+T),3)+SSO*(G)
5080 NEXT G
5090 FOR G=1 TO GG
5100   R$=""
5110   FOR K=1 TO LEN(SOFG*(G)) STEP 5
5120     P=VAL(MID*(SOFG*(G),K,2))
5130     R$=R$+STR*(P)+", "
5140   NEXT K
5150   SO*(G)=LEFT*(R$,LEN(R$)-2)
5160 NEXT G
5170 COL OF (13)
5180 COL OF "-----"
5190 FOR G=1 TO GG
5195 PRINT : PRINT : PRINT
5200 PRINT G$ : PRINT "*" : TAB(76)*" " : PRINT "*" : TAB(76)*" "
5210 PRINT " " : PRINT "GRUPO : " : G;" " : TAB(76)*" " : PRINT " " : PRINT "*" : TAB(76)*" " :
       PRINT " " : TAB(76)*" "
5220 PRINT "*" : TAB(76)*" " : PRINT " " : PRINT " " : TAB(76)*" " : PRINT " " : TAB(76)*" " :
       PRINT " " : TAB(76)*" " : PRINT " " : TAB(76)*" " : PRINT " " : TAB(76)*" "

```

```

5230 PRINT " " SECUENCIA OPTIMA DE TRABAJOS : " ; SOF*(G) ; TAB(76)*"
      : PRINT "*" ; TAB(76)*" : PRINT "*" ; TAB(76)*"
5240 PRINT " " P A R T E S : " ; TAB(76)*" : PRINT "*" ; TAB(76)*"
5250 PRINT " " NUMERO          NOMBRE " : TAB(76)*" : PRINT "*" ;
      TAB(76)*"
5260 FOR P=1 TO LEN(SOFG*(G)) STEP 5
5270   NN=(L(MID*(SOFG*(G),P,2))
5280   PRINT "*" ; TAB(8)B2(G,NN) ; TAB(26)B1*(G,NN) ; TAB(76)*"
5290 NEXT P
5300 PRINT "*" ; TAB(76)*" : PRINT "*" ; TAB(76)*" : PRINT D*
5310 FOR K=1 TO 2000 : NEXT K
5320 NEXT G
5330 COLOR (2)
5340 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT "PARA CONTINUAR OPRIMA";:COLOR (13)
      PRINT " < ENTER > " ; COLOR (2) : INPUT"";R*
6000 CLS : COLOR (13)
6010 LOCATE 5,25 : PRINT"QUE DESEAS"
6020 LOCATE 10,10 : PRINT"1).- REGRESAR AL MENU PRINCIPAL"
6030 LOCATE 13,10 : PRINT"2).- PROCESAR INFORMACION CON OTRO METODO"
6040 LOCATE 16,10 : PRINT"3).- SALIRTE DEL SISTEMA"
6050 LOCATE 23,40 : INPUT"OPCION " ; R : CLS : COLOR(2)
6060 IF R=1 OR R=2 OR R=3 THEN GOTO 6070 ELSE GOTO 6000
6070 ON R GOTO 120,2000,8660
7000 REM CALCULO DE LOS LIMITES DEL GRUPO
7010 FOR G=1 TO GG
7020   LI=VAL(MID*(B*(G,1),4,3)) : LS=VAL(MID*(B*(G,1),4,3))
7030   FOR NN=1 TO NN(G)
7040     FOR I=1 TO LEN(B*(G,NN)) STEP 6
7050       Q(G,VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)))=0
7060       IF VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)) > LS THEN LS=VAL(MID*(
          B*(G,NN),I+3,3))
7070       IF VAL(MID*(B*(G,NN),I+3,3)) < LI THEN LI=VAL(MID*(
          B*(G,NN),I+3,3))
7080     NEXT I
7090   NEXT NN
7100   LI(G)=LI : LS(G)=LS
7110 NEXT G
7120 FOR G=1 TO GG
7130 REM HACE BLANCOS LOS VECTORES DE TRABAJOS QUE SE VAN A UTILIZAR
7140 FOR NN=1 TO NN(G)
7150   FOR I=1 TO LEN(B*(G,NN)) STEP 6
7160     M*(VAL(MID*(B*(G,NN),I+4,2)))=""
7170     MOSO*(VAL(MID*(B*(G,NN),I+4,2)))=""
7180     MRS*(VAL(MID*(B*(G,NN),I+4,2)))=""
7190   NEXT I
7200 NEXT NN
7210 REM VECTOR DE TRABAJOS EN MAQUINA (X)
7220 FOR NN=1 TO NN(G)
7230   FOR I=1 TO LEN(B*(G,NN)) STEP 6
7240     K=VAL(MID*(B*(G,NN),I+4,2))
7250     NNG=100+NN : GNN*=RIGHT*(STR*(NNG),2)

```

```

7260      M*(K)=M*(K)+GNNS+MID*(B*(G,NN),I,3)
7270      NEXT I
7280 NEXT NN
7290 REM VECTOR DE MAQUINAS ORDENADAS DE MENOR A MAYOR
7300 S*=""
7310 FOR M=LI(G) TO LS(G)
7320   IF M*(M)="" THEN GOTO 7340
7330   C*=STR*((100+M)*1000) : S*=S*+RIGHT*(C*,5)
7340 NEXT M
7350 REM BLANQUEADO DE LOS VECTORES DE TRABAJOS EN LAS DIFERENTES MAQUINAS
7360 FOR J=1 TO LEN(S*) STEP 5
7370   M*="" : M=VAL(MID*(S*,J,2))
7380   FOR I=1 TO NN(G)
7390     FOR K=1 TO LEN(S*) STEP 5
7400       IF VAL(MID*(M*(M),K,2))=I THEN M*=M*+MID*(M*(M),K,5) :
          GOTO 7430
7410     NEXT K
7420     GH*=RIGHT*(STR*(100000!),5) : M*=M*+GH*
7430   NEXT I
7440   IF LEN(M*) = (NN(G)*5) THEN GOTO 7480
7450   FOR K=1 TO (NN(G)*5-LEN(M*(M))) STEP 5
7460     M*=M*+GH*
7470   NEXT K
7480   M*(M)=M*
7490   MR*(M)=M*
7500 NEXT J
7510 REM OBTENCION DEL VECTOR DE TODOS LOS TRABAJOS EN EL GRUPO
7520 SD*(0)=""
7530 FOR I=1 TO NN(G)
7540   GL*=RIGHT*(STR*((100+I)*1000),5) : SD*(0)=SD*(0)+GL*
7550 NEXT I
7560 LL*(G)=""
7570 FOR I=LI(G) TO LS(G)
7580   IF M*(I)="" THEN GOTO 7600
7590   LL*(G)=LL*(G)+RIGHT*(STR*((100+I)*1000),5)
7600 NEXT I
7610 S*=LL*(G)
7620 PRINT
7630 P=INT(((LEN(LL*(G))/5)+1)/2) : SP1*=LEFT*(LL*(G),P*5) :
      SP2*=RIGHT*(LL*(G),P*5)
7640 FOR K1=1 TO NN(G)*5 STEP 5
7650   IF K1 > 1 THEN J=(K1-(J*4)) ELSE J=K1
7660   PQ=0 : P1=0
7670   FOR K2=1 TO LEN(SP1*) STEP 5
7680     M=VAL(MID*(SP1*,K2,2)) : PQ=PQ+VAL(MID*(M*(M),K1+2,3))
7690     IF VAL(MID*(M*(M),K1+2,3)) > 0 THEN P1=P1+1
7700   NEXT K2
7710   IF P1=0 THEN P3=0 ELSE P3=PQ/P1
7720   P3=INT(P3*100) : P1(J)=P3/100 : L1(J)=J
7730 NEXT K1
7740 FOR K1=1 TO NN(G)*5 STEP 5

```

```

7750 IF K1 >> 1 THEN J=(K1-(J*4)) ELSE J=K1
7760 P0=0 : P1=0
7770 FOR K2=1 TO LEN(SP2$) STEP 5
7780 M=VAL(MID$(SP2$,K2,2)) : P0=P0+VAL(MID$(M$(M),K1+2,3))
7790 IF VAL(MID$(M$(M),K1+2,3)) >< 0 THEN P1=P1+1
7800 NEXT K2
7810 IF P1=0 THEN P3=0 ELSE P3=P0/P1
7820 P3=INT(P3*100) : P2(J)=P3/100 : L2(J)=J
7830 NEXT K1
7840 FOR K1=1 TO NN(G)
7850 P(K1)=P2(K1) - P1(K1) : L(K1)=K1
7860 NEXT K1
7870 FOR NN=NN(G) TO 0 STEP -1
7880 FOR K1=1 TO NN-1
7890 IF P1(K1) > P1(K1+1) THEN SWAP P1(K1),P1(K1+1) :
SWAP L1(K1),L1(K1+1)
7900 IF P2(K1) < P2(K1+1) THEN SWAP P2(K1),P2(K1+1) :
SWAP L2(K1),L2(K1+1)
7910 IF P(K1) < P(K1+1) THEN SWAP P(K1),P(K1+1) :
SWAP L(K1),L(K1+1)
7920 NEXT K1
7930 NEXT NN
7940 SG$(1)=" : SG$(2)=" : SG$(3)="
7950 FOR K=1 TO NN(G)
7960 SG$(1)=SG$(1)+RIGHT$(STR$(100+L1(K))*1000,5) :
SG$(2)=SG$(2)+RIGHT$(STR$(100+L2(K))*1000,5) :
SG$(3)=SG$(3)+RIGHT$(STR$(100+L(K))*1000,5)
7970 NEXT K
7980 FOR I=1 TO 3
7990 FOR K=1 TO LEN(SG$(I)) STEP 5
8000 M=VAL(MID$(SG$(I),K,2))
8010 MC$(M)="
8020 NEXT K
8030 FOR K1=1 TO LEN(SG$(I)) STEP 5
8040 P=VAL(MID$(SG$(I),K1,2))*5
8050 FOR K=1 TO LEN(SG$(I)) STEP 5
8060 M=VAL(MID$(SG$(I),K,2))
8070 MC$(M)=MC$(M)+MID$(M$(M),P-4,5)
8080 NEXT K
8090 NEXT I
8100 REM COMPARACION DE TRABAJOS
8110 FOR K1=1 TO LEN(SG$) STEP 5
8120 M=VAL(MID$(SG$,K1,2)) : MA$="" : MA=0
8130 FOR K2=1 TO LEN(SG$(0)) STEP 5
8140 IF K1=1 THEN MA=MA+VAL(MID$(MC$(M),K2+2,3)) : MA1$=STR$(1000+MA)
: MA1$=RIGHT$(MA1$,3) : MA3$=MID$(MC$(M),K2,2) : GOTO 8180
8150 IF K2=1 THEN MA=VAL(MID$(MC$(L),K2+2,3))+VAL(MID$(MC$(M),
K2+2,3)) : MA1$=STR$(1000+MA) : MA1$=RIGHT$(MA1$,3) :
MA3$=MID$(MC$(M),K2,2) : GOTO 8180
8160 IF MA >= VAL(MID$(MC$(L),K2+2,3)) THEN
MA=MA+VAL(MID$(MC$(M),K2+2,3)) : MA1$=STR$(1000+MA) :
MA1$=RIGHT$(MA1$,3) : MA3$=MID$(MC$(M),K2,2) : GOTO 8180

```

```

8170      MA=VAL(MID$(MC$(L),K2+2,3))+VAL(MID$(MC$(M),K2+2,3)) ;
      MA1$=STR$(1000+MA) ; MA1$=RIGHT$(MA1$,3) ;
      MA3$=MID$(MC$(M),K2,2)
      MA$=MA$+MA3$+MA1$
8180
8190      NEXT K2
8200      MC$(M)=MA$
8210      L=M
8220      NEXT K1
8230      T(I)=VAL(MA1$) ; SO$(I)=MA$
8240 NEXT I
8250 REM OBTENCION DE LA COMBINACION DE TIEMPO MENOR
8260 FOR JJ=NH(G) TO 0 STEP -1
8270   FOR KK=1 TO JJ-1
8280     IF T(K) > T(K+1) THEN T(K)=T(K+1) ; SO$(K)=SO$(K+1) ;
      SS$(K)=SS$(K+1)
8290   NEXT K
8300 NEXT JJ
8310 TT(G)=T(1) ; SSO$(G)=EJ$(1)
8320 REM ADICION DE TIEMPO DE PREPARACION
8330 OPEN "R", A1,"MAQUINAS.TXT",46
8340 FIELD A1,3 AS CLAVE$,40 AS NOMBRE$,3 AS TIEMPRE$
8350   GET A1,LI(G)
8360   T=VAL(TIEMPRE$)
8370 CLOSE A1
8380 TT(G)=TT(G)+T ; SSO$(G)="TP"+RIGHT$(STR$(1000+T),3)+LJO$(G)
8390 NEXT G
8400 FOR G=1 TO GG
8410   R$=""
8420   FOR K=6 TO LEN(SSO$(G)) STEP 5
8430     P=VAL(MID$(SSO$(G),K,2))
8440     R$=R$+STR$(P)+", "
8450   NEXT K
8460   SOF$(G)=LEFT$(R$,LEN('$')-2)
8470 NEXT G
8480 COLOR (13)
8490 D$="*****"
8500 FOR G=1 TO GG
8505   PRINT ; PRINT ; PRINT
8510   PRINT D$ ; PRINT "e" ; TAB(76)"*" ; PRINT "*" ; TAB(76)"*"
8520   PRINT "e" ; GRUPO ("IG:") ; TAB(76)"*" ; PRINT "*" ; TAB(76)"*" ;
     PRINT "e" ; TAB(76)"*"
8530   PRINT "e" ; TIEMPO TOTAL DEL GRUPO ; TAB(50)"MINUTOS"
     ; TAB(76)"*" ; PRINT "e" ; TAB(76)"*" ; PRINT "*" ; TAB(76)"*"
8540   PRINT "e" ; SECUENCIA OPTIMA DE TRABAJOS ; " ; SOF$(G) ; TAB(76)"*"
     ; PRINT "e" ; TAB(76)"*" ; PRINT "e" ; TAB(76)"*"
8550   PRINT "e" ; P A R T E S ; " ; TAB(76)"*" ; PRINT "e" ; TAB(76)"*"
8560   PRINT "e" ; NUMERO ; NUMERO ; TAB(76)"*" ; PRINT "e" ;
     TAB(76)"*"
8570   FOR P=6 TO LEN(SSO$(G)) STEP 5

```

```
8580      NN=VAL(MID$(SSD$(G),P,2))
8590      PRINT "*" ; TAB(8)B2(G,NN) ; TAB(24)B1$(G,NN) ; TAB(76) "*"
8600      NEXT P
8610      PRINT "*" ; TAB(76) "*" ; PRINT "*" ; TAB(76) "*" ; PRINT D$
8620      FOR K=1 TO 2000 : NEXT K
8630      NEXT G
8640      CCOLOR (2)
8650      PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT "PARA CONTINUAR OPRIMA":COLOR (13)
      PRINT " < ENTER > " ; INPUT "" ; R$ : GOTO 6000
8660      SYSTEM
```

**ANEXO B**

**RESULTADOS DE LAS CORRIDAS  
DE LOS PROGRAMAS**

PROGRAMA REALIZADO POR :

MARTINEZ	CARBONELL	GONZALO
MOGUEL	GOMEZ	ALEJANDRO
OCAMPO	RODRIGUEZ	AMALIO AUGUSTO
RUIZ	CRUZ	VILLERMAN

PARA CONTINUAR OPRIMA < ENTER >?

## MENU PRINCIPAL

- 1).- MANTENIMIENTO AL ARCHIVO DE MAQUINAS
- 2).- MANTENIMIENTO AL ARCHIVO DE PARTES
- 3).- PROCESAR INFORMACION
- 4).- SALIRTE DEL SISTEMA

OPCION?

EL NUMERO DE PARTES A PROCESAR DEBE SER  
MENOR O IGUAL A < 66 > ? 9

1	) . -	NUMERO DE PARTE? 1
2	) . -	NUMERO DE PARTE? 9
3	) . -	NUMERO DE PARTE? 6
4	) . -	NUMERO DE PARTE? 3
5	) . -	NUMERO DE PARTE? 8
6	) . -	NUMERO DE PARTE? 5
7	) . -	NUMERO DE PARTE? 7
8	) . -	NUMERO DE PARTE? 2
9	) . -	NUMERO DE PARTE? 4

DAME EL VALOR DEL INCREMENTO DEBE SER MAYOR O IGUAL A  $\langle 1 \rangle$  ?

1	BALERO DE LINEA	008001003002004003
2	BALERO AXIAL	003001004002004003
3	BALERO RADIAL	004001004002002003
4	BASTIDOR	002004003005004006
5	ADAPTADOR	002004004005006006
6	PRESA ESTOPA	001004003005005006
7	FLECHA SUPERIOR	002007001008002009
8	FLECHA DE LINEA	003007004008005009
9	FLECHA DE IMPULSORES	002007003008004009

QUIERES PROBAR CON OTRO INCREMENTO : S / N ¿? N .

DAME EL NUMERO DE MAQUINAS DEL PRIMER GRUPO,  
ESTE DEBE SER MAYOR O IGUAL A < 3 > ?

DAME EL VALOR DEL INCREMENTO DEBE SER MAYOR O IGUAL A < 1 > ?

## METODOS DISPONIBLES

1).- BRANCH AND BOUND

2).- PETROV

OPCION ?

## TIEMPO TOTAL DE LOS GRUPOS EN LAS DIFERENTES MAQUINAS

Q ( 1 , 1 )	es igual a	20	minutos
Q ( 1 , 2 )	es igual a	17	minutos
Q ( 1 , 3 )	es igual a	15	minutos
Q ( 2 , 4 )	es igual a	11	minutos
Q ( 2 , 5 )	es igual a	14	minutos
Q ( 2 , 6 )	es igual a	20	minutos
Q ( 2 , 7 )	es igual a	11	minutos
Q ( 2 , 8 )	es igual a	14	minutos
Q ( 2 , 9 )	es igual a	16	minutos







QUE DESEAS

- 1).- REGRESAR AL MENU PRINCIPAL
- 2).- PROCESAR INFORMACION CON OTRO METODO
- 3).- SALIRTE DEL SISTEMA

OPCION ?

```
*****  
*  
* GRUPO ( 1 )  
*  
* TIEMPO TOTAL DEL GRUPO          26          MINUTOS  
*  
* SECUENCIA OPTIMA DE TRABAJOS :  2,  1,  3  
*  
* P A R T E S :  
*  
* NUMERO          NOMBRE  
* 2              BALERO AXIAL  
* 1              BALERO DE LINEA  
* 3              BALERO RADIAL  
*  
*****
```



```
*****  
*  
* GRUPO ( 3 )  
*  
* TIEMPO TOTAL DEL GRUPO          20          MINUTOS  
*  
* SECUENCIA OPTIMA DE TRABAJOS : 3. 1. 2  
*  
* P A R T E S :  
*  
* NUMERO          NOMBRE  
* 9              FLECHA DE IMPULSORES  
* 7              FLECHA SUPERIOR  
* 8              FLECHA DE LINEA  
*  
*****
```