

## **UN PROCEDIMIENTO HEURISTICO PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA DEL TALLER**

El problema del taller como todos los problemas de secuenciación son de gran complejidad. Los procedimientos de resolución no son fáciles de aplicar. Por ello presentamos un procedimiento sencillo que permita salvar los inconvenientes anteriores.

### **I) INTRODUCCION**

De los cinco procesos básicos que componen la administración (Planificación, Organización, dirección, dotación de Personal y control), el más importante, primario y que prevalece sobre los demás es el de planificación.

Todo proceso planificador implica la constitución de una serie de líneas posibles de acción y la selección o elección de una de ellas, es decir, comporta una toma de decisiones.

Para efectuar la elección entre las diferentes alternativas poseemos tres criterios válidos (1):

- a) **LA EXPERIMENTACION.-** Consiste en probar las diferentes alternativas seleccionando aquella que nos proporcione mejores resultados.

Sin embargo, tal como afirma Newman (2) la técnica experimental debería ser utilizada como un último instrumento una vez que se hayan probado otras técnicas de planificación.

- b) **LA EXPERIENCIA.-** Es un factor muy importante que combinado con la intuición puede conseguir resultados muy satisfactorios.
- c) **INVESTIGACION Y ANALISIS.-** Es el criterio más efectivo y usado para seleccionar alternativas. Una de las aproximaciones más completas de investigación y análisis en la toma de decisiones la constituye la investigación Operativa, también denominada análisis operacional o "Ciencia de la Administración".

No obstante, la Investigación Operativa a la hora de tomar decisiones no pasa de ser una recomendación, una ayuda para que el responsable de la toma de decisiones pueda escoger un camino mejor que le lleve a alcanzar los objetivos de la empresa (3).

Conscientes de la gran importancia que representan los criterios empíricos, intuitivos y de investigación y análisis para tomar decisiones, hemos procurado diseñar un modelo, para la resolución del problema del taller, que tenga incluidos todos los criterios citados anteriormente.

## II) PROBLEMA DEL TALLER: ENUNCIADO.- (4 a 9)

También denominado "problema de secuencias", "machine sequencing" o "Job shop scheduling".

El problema del taller investiga una secuencia óptima (o en su defecto lo más próxima posible) para procesar "n" artículos en "m" máquinas, siendo el óptimo aquella secuencia que minimiza el tiempo total de ejecución (tiempo necesario para realizar todas las operaciones (10) que comportan los artículos).

Respetando las siguientes condiciones:

A) Relativas a las máquinas:

- 1º) Podemos elegir libremente la secuencia de operaciones en cada máquina.
- 2º) Ninguna máquina puede realizar dos tareas simultáneamente.

B) Relativas a los artículos:

- 3º) Las operaciones requeridas por un artículo tienen que ser realizadas en unas máquinas específicas.
- 4º) Las operaciones son realizadas en un orden técnicamente prescrito.
- 5º) Hay operaciones que pueden realizarse consecutivamente; otras, sin embargo, tienen que realizarse necesariamente de una manera secuencial.
- 6º) Se usan tiempos determinísticos.
- 7º) El tiempo de proceso es independiente de la secuencia.
- 8º) Se asigna a cada operación un tiempo finito. Es decir, el tiempo necesario para que se realice la tarea y, para que cada par de operaciones, que se deban ser efectuadas consecutivamente, tengan un retraso mínimo entre el comienzo de la primera y de la segunda.
- 9º) Cada operación debe ser llevada a cabo antes de las tareas que le siguen.

C) Otras consideraciones:

- 10°) Los tiempos de transporte, inicio y final de actividad son considerados despreciables o bien parte del tiempo de tratamiento.
- 11°) No existen cancelaciones.
- 12°) No se tiene en cuenta las averías de las máquinas y la fuerza humana se considera constante.

Este problema se inserta, por lo tanto, dentro de la clase de problemas que constituyen el problema central del ordenamiento, una vez traducidas las restricciones disyuntivas en desigualdades de potencial.

El que no se produzcan o se den las condiciones mencionadas anteriormente, no impide la resolución del problema. Sin embargo, la complejidad del mismo aumenta en mayor o menor medida si no se respetan.

Hay que tener en cuenta que para "m" máquinas y "n" artículos existen  $(n)^m$  combinaciones.

NOTAS:

- 1°) Un artículo para su terminación necesita, generalmente, ser procesado en todas las máquinas. En caso contrario, para estas situaciones crearemos una operación ficticia de duración "0".
- 2°) Para los artículos hay una indiferencia en el orden de realización de las tareas en cada máquina, (así por la máquina 1 deben pasar "n" artículos, pero puede hacerlo primeramente la operación correspondiente al primer artículo, al segundo o al enésimo; en segundo lugar, puede ejecutarse cualquiera de las n-1 tareas restantes, y así sucesivamente). Esta característica, nos muestra que el problema es altamente combinatorio.
- 3°) Problema combinatorio según N. Agin (11) es "aquel que se le atribuyen unos valores discretos numéricos a cierto conjunto finito de variables, de tal manera que satisfaga un conjunto de restricciones y reduzca al mínimo la función objetivo de dichas variables".

Los problemas de taller podemos clasificarlos, a su vez en dos tipos distintos:

TIPO I.- Los artículos se procesan en las máquinas en un orden común. Una vez fijado el orden de paso de los artículos en una máquina, ese mismo orden se sigue para las restantes máquinas.

TIPO II.- Cada artículo tiene un orden diferente de paso por las máquinas. Este orden viene especificado por el problema.

### III) METODOS DE RESOLUCION

Debido a la extraordinaria complejidad del problema, una solución obtenida mediante una técnica que nos oriente hacia una secuencia óptima o próxima al óptimo sin tener que probar la totalidad o la mayoría de tales soluciones tiene un valor considerable.

Existen para este problema tres tipos de métodos:

A) **METODOS DE SIMULACION.**- Estos métodos se utilizan como un instrumento auxiliar en la resolución de problemas de naturaleza combinatorio. Así, Kauffmann (12) señala que "cuando no se conoce un algoritmo (13) de optimización, o falta un método heurístico aceptable para mejorar una solución inicial se puede utilizar un método de simulación".

La simulación fué la primera vía por la que se intentó la resolución del problema del taller. Su validez es discutible, y la aparición de otros métodos más refinados postergaron su empleo en la resolución del problema que nos ocupa.

B) **METODOS HEURISTICOS.**- Estos métodos se utilizan cuando no se conoce ningún algoritmo de optimización, y existe la necesidad práctica de encontrar una solución bien situada en relación al óptimo (que evidentemente no se conoce). Se parte de una solución factible (la que satisface las restricciones) y se va mejorando mediante el método, sin tener la seguridad de que se converge hacia el subconjunto de soluciones óptimas (14).

Este concepto de Kauffmann puede ser complementado con el de Battersby (15): "tales métodos se utilizan cuando no se puede obtener la mejor solución por no conocerse un método analítico adecuado o si se conoce por no ser técnicamente realizable".

A nuestro juicio la mejor definición de método heurístico la encontramos en Kauffmann (16): Se trata de un método que no se puede aceptar del todo rigurosamente, pero que proporciona resultados suficientes para la práctica.

C) **METODOS DE OPTIMIZACION.**- Con estos métodos, se intenta conseguir una economía relativa, es decir, que la proximidad del óptimo alcanzada nos reporte un mayor beneficio que el coste utilizado para dicho fin.

Los métodos de optimización consisten, según Kauffmann (17), en separar el conjunto de soluciones en dos partes, una de las cuales contiene con toda seguridad el subconjunto de soluciones óptimas y la otra no, con lo cual se va pasando de unos subconjuntos a otros menores hasta obtener mediante este cribado el subconjunto óptimo. Se puede operar también siguiendo el procedimiento de descomposición imponiendo solamente que en la parte seleccionada haya con toda seguridad alguna (o algunas) solución óptima, pero pudiendo haber algunas, también, en la parte desechada; de esta forma, al final no se tendrá, tal vez, el subconjunto óptimo entero, pero si algunos de sus elementos que es lo que habitualmente se busca.

Las soluciones mas relevantes por cada método de resolución y para los diferentes tipos se relacionan a continuación (18):

METODO	TIPO I	TIPO II
A) SIMULACION	Ramboz (19)	Rowe-Jachson (20)
B) HEURISTICOS	Johnson (21) Palmer (22)	
C) OPTIMOS	Lomnichi (23) Ignall-Schrage (24)	Bowman (25) Manne (26) Greenberg (27)

#### IV) PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA DE TALLER DEL TIPO II.

Es un procedimiento heurístico consistente en la construcción de una arborescencia. Para su elaboración nos apoyaremos en resultados obtenidos mediante la realización de un conjunto de diagramas de Gantt. Estos diagramas estarán compuestos por un número de barras igual al número de artículos considerados en el problema. Cada barra llevará marcado el tiempo empleado en las sucesivas máquinas por el artículo y, por supuesto, en el orden de ejecución tecnológicamente prescrito por el problema.

**ALGORITMO.-** Consta de tres fases:

- A) **COMIENZO.-** Sumamos las duraciones de las tareas correspondientes a cada artículo. El valor mas alto obtenido lo asignamos al nudo inicial que constituye la cota raiz de la arborescencia.
- B) **DESARROLLO.-** Una restricción disyuntiva implica dos alternativas: que un trabajo preceda a otro en una máquina ó, caso contrario, sea continuación del mismo. La solución del problema del taller se consigue con la eliminación de las restricciones disyuntivas y su conservación en desigualdades de potencial. La conversión se puede hacer de dos formas:
  - 1.º) Empíricamente, previo examen detenido del problema, podemos elegir una de las alternativas que indica una restricción disyuntiva sin tener que probar cual de las dos es la mejor. Representamos el problema en un diagrama de barras que contempla esta restricción. El valor de tiempo resultante en el gráfico constituye la cota de una rama descendente desde el nudo previo.  
Cuando la elección en base al examen del problema no es clara, procederemos a realizarla a través de la segunda forma.
  - 2.º) A partir del nudo de cota menor hacemos dos ramas descendentes. Cada rama representa una alternativa de una restricción disyuntiva. Procedemos a su representación y obtención de cotas.

Repetimos iterativamente este apartado B) hasta que alcancemos el final del problema (apartado C).

- C) FINAL.- La solución del problema se habrá alcanzado cuando lleguemos a un nudo que represente una solución factible (todas las restricciones disyuntivas han sido transformadas en desigualdades de potencial) y el valor de la cota correspondiente, sea la menor de la arborescencia.

En el anexo I presentamos un caso ilustrativo.

## V) CONSIDERACIONES.

Respecto al procedimiento aquí descrito conviene establecer las siguientes puntualizaciones:

- Solo es válido para problemas de dimensión reducida.
- Para el desarrollo del procedimiento y obtención de una solución satisfactoria, juega un papel fundamental la intuición y experiencia en la resolución de problemas de este tipo. No recomendamos su utilización en aquellas personas no versadas y no conocedoras del problema.
- Es fácil comprender que el deshacer empíricamente una restricción disyuntiva ocasionará, si la decisión adoptada es errónea, una solución más o menos alejada del óptimo, según sea la trascendencia de dicha decisión.
- Las decisiones empíricas, indudablemente, reducen en gran medida la complejidad del problema, su predominio está en relación directa con la dimensión del problema a resolver.

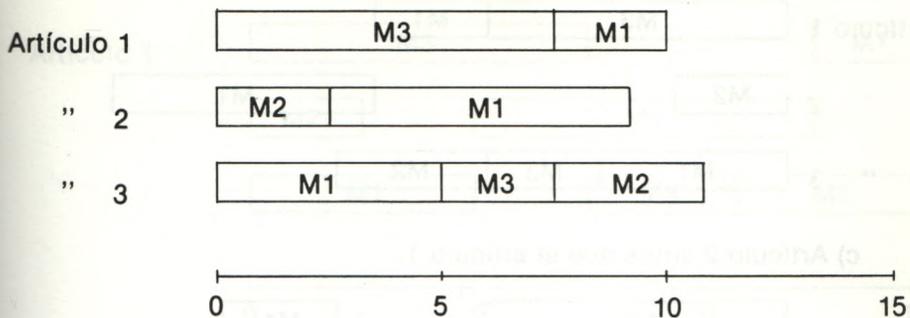
## ANEXO 1.- CASO ILUSTRATIVO.

Tres artículos deben ser procesados en máquinas. El artículo 1 debe ser procesado primero en la máquina 3 y posteriormente en la 2. El artículo 2 debe, en primer lugar, ser tratado en la máquina 2 y a continuación en la 1. El artículo 3 sigue en las máquinas el siguiente orden: máquina una-tres-dos.

Los tiempos de realización se dan en el siguiente cuadro.

ARTICULOS	MAQUINA 1	MARQUINA 2	MAQUINA 3
1	3	0	8
2	7	3	0
3	5	4	3

A) COMIENZO.-



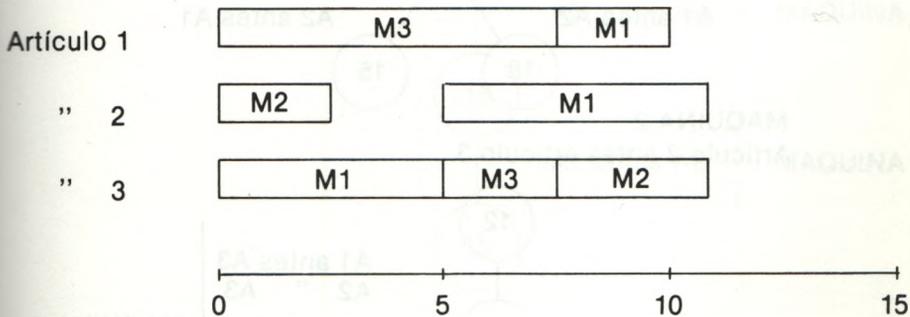
RAIZ

12

B) DESARROLLO

MAQUINA 1

a) Artículo 1 y 2 antes que el 3.

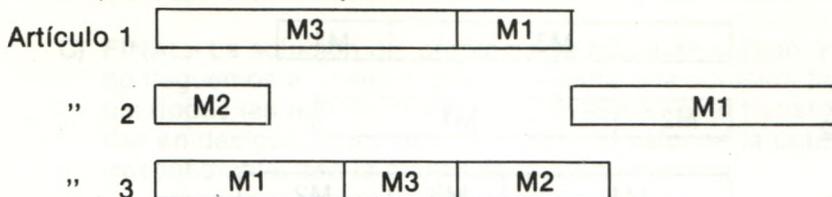


12

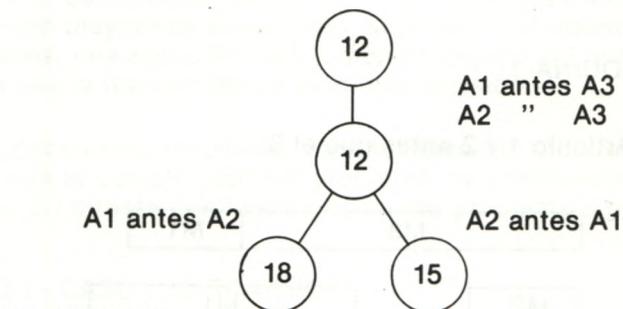
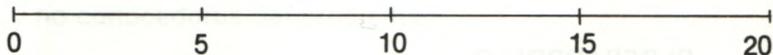
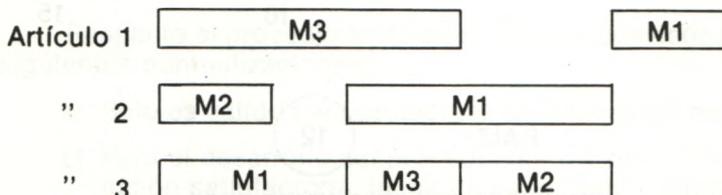
A1 antes A3  
A2 " A3

12

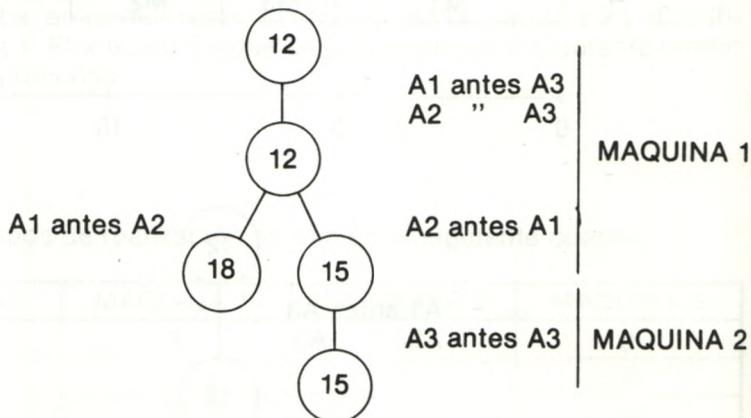
b) Artículo 1 antes que artículo 2.



c) Artículo 2 antes que el artículo 1.

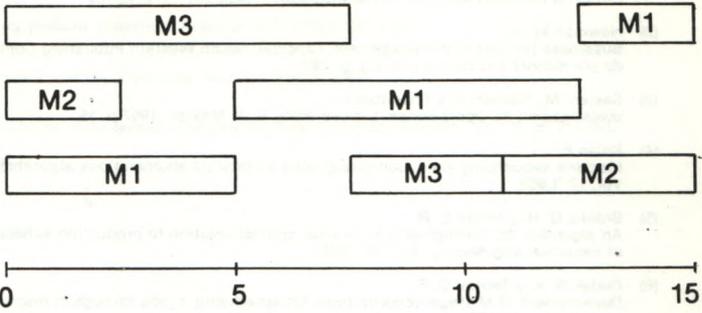


MAQUINA 2  
Artículo 2 antes artículo 3.

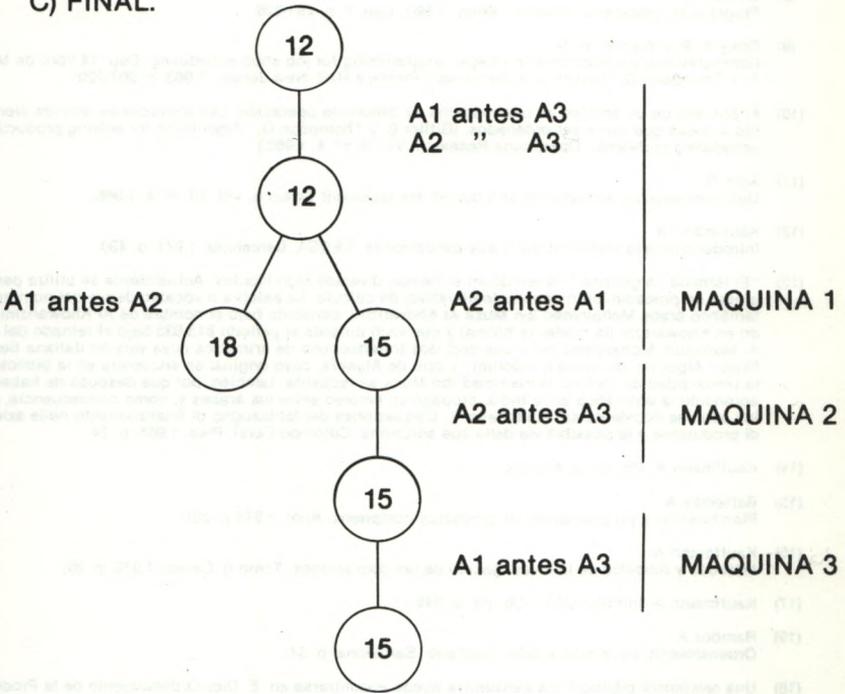


MAQUINA 3.- Artículo 1 antes que artículo 3.

Artículo 1



C) FINAL.



SOLUCION: Orden de paso de los artículos por las máquinas.

- Máquina 1.- Artículo 3 - 2 - 1
- Máquina 2.- " 2 - 3
- Máquina 3.- " 1 - 3

# BIBLIOGRAFIA

- (1) H. KOONTZ Y C. O'Donnell  
Curso de Administración Moderna McGrawhill. México. 1973. p. 189
- (2) Newman W. H.  
Business policies and management. Cincinnati South Western Publishing Company. 1949. p. 601. Cita do por Koontz y O'Donnell ob. cit. p. 190
- (3) Sasieni M., Yaspan A. y Friedman L.  
Investigación de Operaciones. Limusa Wiley S. A. México. 1967 p. 15
- (4) Balas E.  
Machine sequencing via disjonctive graphs an implicit enumerations algorithm. Operatios Research. Vol. 17. 1.969.
- (5) Brooks G. H. y White C. R.  
An algorithm for finding optimas or near optimal solution to production scheduling problems. Journal of industrial engineering. Vol. 16. 1965.
- (6) Dudek R. A. y Teuton O. F.  
Development of M stage decision rules for scheduling n jobs through m machines. Operations Research. Vol. 12. 1964.
- (7) Gere W. S.  
Heuristics in job scheduling. Management Science. Vol. 13. n° 3. Nov. 1.966.
- (8) Sinsson R. L.  
Progress in operations research. Wiley. 1.961. Cap. 7. p. 291-326.
- (9) Story A. E. y Wagner H. M.  
Computational experience with integer programming for job shop scheduling. Cap. 14 libro de Muth J. F. y Thompson G. "Industrial scheduling". Prentice Hall. New Jersey. 1.963. p. 207-220.
- (10) El proceso de un artículo en una máquina se denomina operación. Las operaciones son los elementos o cosas que van a ser ordenados. (Giffler B. y Thompson G. "Algorithms for solving production scheduling problems" Operations Research. Vol. 8. n° 4. 1.960.)
- (11) Agin N.  
Optimum seeking with branch and bound. Management Science. Vol. 13. n° 4. 1.966.
- (12) Kauffmann A.  
Introducción a la combinatoria y sus aplicaciones. CECSA. Barcelona. 1.971. p. 430.
- (13) "El término "algoritmo" ha tenido en el tiempo diversos significados. Actualmente se utiliza para expresar un procedimiento constante (iterativo) de cálculo. La palabra o vocablo deriva del nombre matemático árabe Mohammed Ibn Musa Al Khovarizmi, conocido bajo el nombre de Al Khowarizmi, nacido en Khowarezm (la moderna Khima) y que vivió durante el periodo 813-833 bajo el reinado del califa Al Mamun. Mohammed Ibn Musa dejó dos tratados, uno de aritmética cuya versión italiana tiene por título "Algoritmi de numero indorum" y otro de Algebra, cuyo original se encuentra en la biblioteca de la Universidad de Oxford. Mohammed Ibn Musa se recuerda, también, por que después de haber aprendido la aritmética en la India, propagó su empleo entre los árabes y, como consecuencia, entre los pueblos occidentales" (Giannessi E. L'equazioni del fabbisogno di finanziamento nelle azienda di produzione e le possibili vie della sua soluzione. Colombo Cursi. Pisa. 1.955. p. 24.
- (14) Kauffmann A. Ob. cit. p. 413-414.
- (15) Battersby A.  
Planificación y programación de proyectos complejos. Ariel. 1.970 p. 207.
- (16) Kauffmann A.  
Métodos y modelos de la investigación de las operaciones. Tomo II. Cecsa. 1.972. p. 39.
- (17) Kauffmann A. Introducción... Ob. cit. p. 349.
- (18) Ramboz A.  
Ordenamiento de la producción. Sagitario. Barcelona. p. 54.
- (19) Una referencia bibliográfica exhaustiva puede encontrarse en: E. Diez Ordenamiento de la Producción. Modelos de Secuencias. Tesis Doctoral. Facultad Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Sevilla. Octubre 1.978.
- (20) Rowe A. J. y Jackson J. R.  
Research problems in production routing and scheduling. Journal of industrial engineering. Vol VIII. n° 3. Mayo-Junio. 1.956.
- (21) Johnson S. M.  
Optimal two and three stage production schedules with set up times included. Naval Research Logistics Quaterly. Vol. 1. n° 1. Marzo. 1.954.
- (22) Palmer D. S.  
Sequencing jobs thorough a multi stage process in the minimum total time. Operations Research Quarterly. Vol. 1. 1.962.
- (23) Lomnicki Z. A.  
A branch and bound algorithm for the exact solution of three machine scheduling problem. Operations Research. Vol. II. n° 6. 1.963.

- (24) Ignall E. y Schrage L.  
Application of the branch and bound technique to some flow-shop scheduling problems. *Operatios Research*. Vol. 13. 1965.
- (25) Bowman E. H.  
The schedule sequencing problem. *Operations Research*. Vol. 7. Sept-Oct. 1959.
- (26) Manne A. S.  
On the job shop scheduling problem. *Operations Research*. Vol. 8. 1970.
- (27) Greenberg H.  
A branch and bound solution to the general scheduling problem. *Operations Research*. Vol. 16. n° 2. 1968.
- (28) Brooks-White. Art. cit.

## 1. INTRODUCCION

Conocer el comportamiento de un sistema de control en un instante determinado de tiempo, es un problema que puede resolverse analíticamente, si el sistema está descrito por ecuaciones diferenciales ordinarias, o por ecuaciones en diferencias, o por ecuaciones de estado, o por ecuaciones de estado en el espacio de estado.

Una de las técnicas más utilizadas para el análisis de sistemas de control es el método de los polos y ceros, que permite obtener una representación matemática del sistema en el plano complejo. Este método es muy útil para el análisis de la estabilidad y de la respuesta en frecuencia de un sistema de control. Sin embargo, el método de los polos y ceros no puede aplicarse a sistemas de control que presentan no linealidades, o que presentan un comportamiento dinámico muy complejo, o que presentan un comportamiento que no puede ser descrito por ecuaciones diferenciales ordinarias.

Una vez que se ha obtenido una representación matemática de un sistema de control, se puede analizar su comportamiento en un instante determinado de tiempo, o se puede analizar su comportamiento en un intervalo de tiempo determinado, o se puede analizar su comportamiento en un instante determinado de tiempo, o se puede analizar su comportamiento en un intervalo de tiempo determinado.

La idea básica de este método es la de representar el sistema de control por un modelo matemático que permita obtener una representación matemática del sistema en el plano complejo. Este método es muy útil para el análisis de la estabilidad y de la respuesta en frecuencia de un sistema de control.

El método de los polos y ceros se aplica a sistemas de control que pueden ser descritos por ecuaciones diferenciales ordinarias, o por ecuaciones en diferencias, o por ecuaciones de estado, o por ecuaciones de estado en el espacio de estado.

La ecuación diferencial ordinaria de estado de un sistema de control puede ser escrita en la forma  $\dot{x} = Ax + Bu$ , donde  $x$  es el vector de estado,  $A$  es la matriz de estado,  $B$  es el vector de control, y  $u$  es el control.

Un sistema de control puede ser descrito por un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias, o por un conjunto de ecuaciones en diferencias, o por un conjunto de ecuaciones de estado, o por un conjunto de ecuaciones de estado en el espacio de estado.