

Renato Gibellini / Sergio Sato

Proyectos, producción y logística

Técnicas de aplicación

**Universidad de Lima
Fondo de Desarrollo Editorial
1999**

05734



Colección Textos Universitarios
Cuarta edición corregida y aumentada 1999

© Fondo de Desarrollo Editorial
Universidad de Lima
Av. Javier Prado Este s/n. Lima 33
Apartado postal 852, Lima 100, Perú
Teléfono 437-6767
Fax 437-8066
E-mail fondo_ed@ulima.edu.pe
Internet <http://www.ulima.edu.pe>

Diseño y edición: Fondo de Desarrollo Editorial

Impreso en el Perú

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio sin permiso expreso del Fondo de Desarrollo Editorial.

ISBN 9972-45-082-4

Hecho el depósito legal 15014099-1582

Índice

Presentación
Prólogo
Introducción

CAPÍTULO I PROYECTOS

CASO 1	Asignación de recursos a una cartera de proyectos	23
CASO 2	Estimación de la demanda per cápita y de la curva de saturación del mercado de un bien durable	29
CASO 3	Método del período óptimo en la definición del tamaño de planta como función de la demanda para un proyecto	37
CASO 4	Inversión/tamaño, economía de escala	41
CASO 5	Modelo cuantitativo para la elección de la localización	47
CASO 6	Requisitos de maquinaria y operarios	55
CASO 7	Requisitos de maquinaria de reserva (<i>stand-by</i>)	67
CASO 8	Elaboración por terceros vs. propia y elección de la maquinaria más apropiada	73
CASO 9	Disposición de máquinas, método de los eslabones	75
CASO 10	Programa de ejecución y cronograma de inversión	83
CASO 11	Programación de la ejecución de obras por el método de la trayectoria crítica CPM	91
CASO 12	Asignación de recursos (maquinaria y personal)	101
CASO 13	Costo de capital y cálculo del valor actual neto	109

CAPÍTULO II PRODUCCIÓN

CASO 14	Definición del mix de producción por programación lineal	119
CASO 15	Balanceo de línea	127
CASO 16	Confiabilidad de una línea	139
CASO 17	Confección de planes y programas de ventas y producción en líneas multiproductos	143
CASO 18	Plan anual de ventas, regresión múltiple	153
CASO 19	Elección del nivel de actividad en condiciones de incertidumbre y riesgo	175
CASO 20	Ajustes del nivel de actividad	183
CASO 21	Modelos matemáticos del sistema de producción	187
CASO 22	Interferencia en máquinas automáticas, fórmula de Ashcroft	193
CASO 23	Atención de un enjambre de máquinas	197

CASO 24	Prioridades en el procesamiento de órdenes de trabajo, regla Covert	213
CASO 25	Asignación de pedidos a máquinas, método del indicador	217
CASO 26	Asignación de pedidos a máquinas, método MIM	223
CASO 27	Programación de órdenes de trabajo de igual secuencia operativa	227
CASO 28	Elaboración urgente, secuenciación gráfica	245
CASO 29	Asignación a un número de máquinas de igual número de pedidos	251
CASO 30	Maximización del flujo de producción a costo mínimo	261
CASO 31	Distribución y programación del trabajo de una cuadrilla, diagrama de actividades múltiples	269
CASO 32	Control de la producción, línea de balance LOB	279
CASO 33	Diagrama de Gantt, control de avance de órdenes de trabajo (O/T)	283
CASO 34	Tablero de comando, productividad, rendimiento, eficiencia y eficacia de los factores de la producción	287
CASO 35	Productividad de la maquinaria, paro dispuesto, paro operativo, paro vario y merma	295
CASO 36	Costo horario de producción y cotizaciones de precios en fabricaciones a pedido	301
CASO 37	Plazos de entrega, presupuestos para su reducción, aplicaciones de pert y pert-costo	311
CASO 38	Diseño de un sistema administrativo de órdenes de trabajo	317

CAPÍTULO III LOGÍSTICA

CASO 39	Preparación de pedidos de suministro en productos complejos, matriz insumo-producto de Gozinto	325
CASO 40	Gestión de stocks, kárdex, costo de pedido, posesión y agotamiento, cantidad y periodicidad de reposición, stock de protección	335
CASO 41	Calendario de reaprovisionamiento	343
CASO 42	Cálculo de la periodicidad de reposición y nivel óptimo de inventario. Método 123	349
CASO 43	Regulación del stock de protección de un almacén de productos terminados, mediante el método de la "escala móvil" y el "juego de los stocks"	357
CASO 44	Introducción de las tarjetas kanban en la administración de producción y logística	363
CASO 45	Evaluación de ofertas por calificación de factores ponderados	373
CASO 46	Evaluación del financiamiento de paquetes tecnológicos	377
CASO 47	Selección de proveedores, método de la vida útil	381
CASO 48	Evaluación de ofertas. Descuentos por cantidad	383

CASO 49	Procedimientos logísticos. Diagrama de banderas, ordinogramas y escritura lógica condensada	387
CASO 50	Análisis de valor como función de compras	393

ÍNDICE ALFABÉTICO

Presentación

Existe actualmente un creciente interés en optimizar el diseño y la formulación de proyectos, en la administración de la producción y en la gestión logística.

El libro de los ingenieros industriales Renato Gibellini y Sergio Sato, cuya cuarta edición presentamos, es una obra original, que no pretende explicar conceptos teóricos sobre proyectos, producción o logística, para lo cual existe una vasta bibliografía, sino proporcionar el acceso a un conjunto de técnicas nuevas en la especialidad, como un complemento importantísimo por su recurrencia a lo general.

Uno de los mayores problemas para los estudiantes y egresados universitarios en las artes y ciencias de la ingeniería industrial y ramas afines, es el casi imposible acceso a ciertas técnicas muy especiales, en parte por su poca difusión y en mayor grado por estar dispersas en publicaciones y bibliotecas diversas. Dichas técnicas son relativas a:

- Pronóstico para estudios de mercado, planeamiento de producción y ventas, definición de tamaño, localización, área necesaria y disposición de planta.
- Bienes a producir en condiciones de riesgo e incertidumbre, asignación de recursos, elección y ajuste de los niveles de producción. Pronóstico de efectos de los cambios mediante simulación sobre un modelo del sistema de producción de un bien.
- Racionalización del trabajo y optimización de la producción en línea, por lotes, en actividades de cuadrillas, carga de máquinas, prioridad y programación de la producción.
- Control de la producción mediante un sistema administrativo de órdenes de trabajo, cronogramas, simogramas, líneas de balance y cuadernos de obra.
- Productividad de los factores de la producción. Tableros de comando para dirección por objetivos y control por excepción. Paros dispuestos, rendimiento medio operario y factor de uso de la maquinaria.
- Costos-horarios, presupuestos y cotización de precios en la producción de bienes y servicios. Plazos de entrega.
- Preparación de pedidos de suministro para productos complejos. Gestión económica de almacenes. Calendario de reaprovisionamiento. Nivel óptimo y periodicidad de reposición. Regulación de las existencias de protección. Sistemas de tecnología de producción optimizada, justo a tiempo y carteles "kanban".

- Flujogramas y escritura condensada en la elaboración de normas y procedimientos logísticos. El análisis de valor como función de compras. Evaluación de ofertas por calificación de factores ponderados exponencialmente, forma de pago, vida útil del bien, descuento por cantidad.

Las técnicas han sido ordenadas, dentro de cada área, en forma lógica, encabezadas en cada uno de los casos por un subtítulo: *utilización*, para mencionar a renglón seguido la *teoría* que agrupa problemas de su tipo y alguna *bibliografía* referencial para la fundamentación teórica. Un modelo representativo de casos reales es resuelto con cada técnica, mediante pasos numerados, como si se tratase de algoritmos de cálculo.

Los 50 casos del conjunto de técnicas seleccionadas para una mejor acción en las respectivas áreas, hacen de la obra una evidente contribución para asegurar el diseño de proyectos más eficiente, el planeamiento y control de producción más eficaces, y una mejor administración logística, con el consecuente incremento de la productividad empresarial.

Augusto Cáceres Rosell

Director

Centro de Investigación de la Producción Industrial

Prólogo

Durante los años que llevo dedicado a la docencia de administración de la producción, gestión logística y formulación de proyectos he comprobado la necesidad que tienen los alumnos de contar con publicaciones de casos prácticos.

Con el afán de satisfacer esta demanda hemos intentado, junto con Sergio Sato, responder a las interrogantes que se plantean en la Introducción. Para ello, hemos seleccionado un conjunto de técnicas especiales desarrolladas por diversos investigadores, que se aplican a 50 casos reales.

En la elaboración de este volumen hemos tenido algunas dificultades, entre éstas:

- Se ha utilizado inapropiadamente el concepto "algoritmo de resolución", para ordenar por pasos numerados la secuencia de acción para cada caso.
- Hemos lidiado con el tiempo y la moneda; así, cuando mencionamos el año k no nos estamos refiriendo necesariamente al año de edición de este libro, y cuando utilizamos el signo \$ no estamos necesariamente pensando en la divisa norteamericana o en la moneda del país donde publicamos la obra.
- Hemos transformado casos reales en modelos simplificados. De ahí que, por ejemplo, no creemos que las ruedas que hemos decidido armar para el balanceo de línea, rueden realmente.

Salvados estos inconvenientes, creemos que este texto será útil en el proceso de enseñanza-aprendizaje en cursos de pregrado y de posgrado de producción, logística y proyectos, como lo ha demostrado la acogida recibida por las anteriores ediciones y reimpresión.

Consideramos, además, que por la utilización de datos reales y por la forma de presentación de los casos, la obra será también una guía práctica para los ingenieros y administradores en su incursión por las referidas áreas profesionales.

Renato Gibellini

Introducción

Existe un conjunto de técnicas especiales, inherentes a la administración de proyectos, producción y logística, que un profesional debe conocer para decidir su aplicación apropiada.

Los casos resueltos responden a las siguientes interrogantes:

EN EL ÁREA DE PROYECTOS:

CASO 1 (p. 23). ¿Qué es la programación dinámica? ¿Cómo puede utilizarse para distribuir una inversión entre una cartera de proyectos de mejoras de procesos y de incrementos de la producción en cantidad y variedad de artículos?

CASO 2 (p. 29). ¿Qué es la curva "S" de Gompertz? ¿Cómo puede calcularse la demanda potencial de un bien durable mediante el cálculo de los factores que la condicionan, y proyectarse considerando cuotas de crecimiento demográfico y reposición? ¿Cómo puede utilizarse para establecer el plan de producción anual, mediante la inferencia de la curva de saturación del mercado en el horizonte de ventas?

CASO 3 (p. 37). ¿Qué es el método del período óptimo? ¿Cómo se puede establecer el tamaño de planta recomendable para un proyecto conociendo la demanda del mercado, su tendencia y el grado de penetración esperado?

CASO 4 (p. 41). ¿Qué es la economía de escala? ¿Cómo puede establecerse un estimado de inversión en función del tamaño de planta en un estudio preliminar? ¿Cómo se actualiza un presupuesto? ¿Qué es la regresión estadística? ¿Cómo se obtiene la expresión de la curva inversión = $f(\text{tamaño})$ por el método de los mínimos cuadrados?

CASO 5 (p. 47). ¿Qué es un estudio de localización? ¿Cómo se utiliza el método del menor costo al usuario final para escoger entre varias alternativas el lugar de emplazamiento de una unidad de producción?

CASO 6 (p. 55). ¿Cuándo y cómo se aplican los modelos determinísticos y probabilísticos en el cálculo del número de máquinas necesarias? ¿Qué es y cómo se utiliza el método de simulación de Montecarlo? ¿Y la simulación de la distribución normal por el método de generación Box-Müller?

CASO 7 (p. 67). ¿Cuándo se requieren máquinas de reserva? ¿Cómo se determina la cantidad necesaria? ¿Cómo se aplica la teoría de colas?

CASO 8 (p. 73). ¿Cómo debe adoptarse la decisión de elaborar o adquirir un lote de piezas? ¿Cómo decidir a cuál de las máquinas que pueden elaborar el producto asignarle el trabajo?

CASO 9 (p. 75) ¿Cómo se utiliza el método de Guerchet para el cálculo de las superficies necesarias en una disposición de planta? ¿Cómo se confecciona un cuadro de eslabones y se utilizan las unidades mag? ¿Cómo se esquematiza la disposición de máquinas mediante los diagramas triangulares? ¿Cómo se utilizan las plantillas máquinas + área de trabajo para el diseño de la disposición de detalle?

CASO 10 (p. 83). ¿Cómo se presenta el presupuesto de inversión de un proyecto? ¿Qué son los paquetes financieros? ¿Cómo se confecciona el grafo sagital y el cronograma de ejecución del proyecto? ¿Cómo se transforma en cronograma de inversiones? ¿Cómo se prepara el esquema financiero y cómo se calcula la relación deuda/patrimonio?

CASO 11 (p. 91). ¿Qué es la velocidad de avance en la ejecución de un proyecto? ¿Qué diferencia existe entre el CPM y el pert? ¿Cómo se aplica el método del camino crítico a un proyecto de construcción? ¿Cómo deben utilizarse las actividades ficticias? ¿Cómo se calculan tiempos próximos y lejanos de iniciación o terminación de una actividad, tiempos flotantes, holguras totales y libres?

CASO 12 (p. 101). ¿Qué modalidades de diseño existen para un diagrama sagital? ¿Cómo debe modificarse el mismo cuando se comprueba que un conjunto de actividades que podrían desarrollarse simultáneamente requieren más maquinaria o personal que el disponible? ¿Cómo se aplica el algoritmo de Shaffer? ¿Cómo se confecciona un diagrama interrelacional de actividades?

CASO 13 (p. 109). ¿Cómo se presenta el flujo de fondos en un proyecto? ¿Cuáles son las características de los préstamos? ¿Qué es el costo de capital, el costo del préstamo y el costo ponderado de capital? ¿Cómo se calcula el valor actual neto (VAN) con el método de Solomon?

EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN

CASO 14 (p. 119). ¿Qué es la programación lineal y el método Simplex? ¿Qué son las inecuaciones y la funcional? ¿Cómo puede utilizarse para definir el número de unidades a producir de los distintos artículos fabricados por la empresa? ¿Qué es un sistema experto? ¿Cómo se puede utilizar para el cálculo un programa de aplicación para un ordenador?

CASO 15 (p. 127). ¿Qué es un balanceo de línea? ¿Cómo se aplica el método de Helgeson y Birnie? ¿Cómo el de Arcus? ¿Cómo se agrupan las operaciones elementales considerando sus precedencias, tiempos estándar, y producción necesaria o personal disponible? ¿Cómo se efectúa la producción en lotes sobre una línea multiproducto? ¿Cómo se perfecciona el balanceo de línea?

CASO 16 (p. 139). ¿Con qué frecuencia se efectúan balanceos en líneas multiproductos? ¿Cuál es el costo del cambio de producción en la línea? ¿Cómo se calcula el nivel de confianza de satisfacer la demanda con la producción? ¿Cómo se puede aumentar la confiabilidad?

CASO 17 (p. 143). ¿Cómo se confecciona un plan anual de producción? ¿Cómo se realiza la programación de la producción en líneas multiproductos de ensamblaje? ¿Cuál es la relación de esta programación con los planes de ventas y los stocks existentes? ¿Cómo se pronostica la demanda anual? ¿Cómo se calcula la contribución de la demanda mensual a la demanda anual? ¿Cómo se juega con los stocks? ¿Cómo se confecciona el programa, considerando horas-hombre posibles y necesarias? ¿Cómo se define el rol de vacaciones?

CASO 18 (p. 153). ¿Qué es la regresión múltiple? ¿Cómo se la utiliza para establecer los planes anuales de producción y ventas? ¿Puede calcularse el precio óptimo del producto? ¿Qué relación existe entre éste y la elasticidad de la demanda al precio? ¿Cómo se corrigen los precios considerando los plazos de créditos concedidos? ¿Cómo se calcula el capital necesario para el financiamiento de las ventas? ¿Cómo se predice la rentabilidad de la inversión?

CASO 19 (p. 175). ¿Qué es el nivel de actividad? ¿Cómo se puede decidir la cantidad a producir en condiciones de incertidumbre? ¿Qué significado tienen los criterios Maximin y Maximax de Wald y el Minimax de Savage? ¿Qué es y cómo se emplea la técnica de Delfos? ¿Cómo se puede transformar un problema de incertidumbre en uno de riesgo? ¿Cuál es la regla de aplicación para decidir la cantidad a producir?

CASO 20 (p. 183). ¿Cómo se ajusta el nivel de actividad? ¿Qué es y qué efectos tiene una demanda violenta? ¿En qué consiste el método de nivelación del plan de producción?

CASO 21 (p. 187). ¿Qué es un modelo del sistema de producción? ¿Cómo pueden predecirse los efectos que, en un cierto tiempo, podrían provocar alteraciones en el suministro de materia prima, ineficacia de producción o cambios en las proporciones de pedidos?

CASO 22 (p. 193). ¿Qué es la interferencia cuando se asigna más de una máquina automática a la atención de un operador? ¿Cómo se puede determinar mediante la fórmula de Ashcroft y como un problema de colas, cuántos operarios deben asignarse a la atención del conjunto de máquinas automáticas por turno de trabajo?

CASO 23 (p. 197). ¿Qué es un enjambre de máquinas? ¿Cómo puede determinarse el número óptimo de operarios por turno, contando con estadísticas de tiempos transcurridos entre pedidos de servicio de las máquinas y de tiempos de atención, efectuando la simulación por el método de Montecarlo de ocurrencias, contabilizando esperas de máquinas y esperas de operario, para el caso de contar 1, 2, 3..., n operarios y hallando el costo de cola mínimo?

CASO 24 (p. 213). ¿Cuáles son los criterios que se siguen para establecer prioridades en el procesamiento de órdenes de trabajo? ¿Cuál es la regla SOT? ¿Cuál la regla Covert? ¿Cómo se pueden publicar instrucciones semanales para que los supervisores seccionales respeten un orden de procesamiento, ligado con las fechas prometidas de entrega de los distintos pedidos, en caso de tener que realizar más de un trabajo en una máquina, o de haber acumulado más trabajos que los asignables al personal que disponen? ¿Cómo es el algoritmo de Carroll?

CASO 25 (p. 217). ¿Qué es la carga de máquinas? Existiendo distintas máquinas que pueden realizar una misma operación de una orden de trabajo ¿cómo es posible efectuar la mejor asignación mediante el denominado método del indicador, haciendo uso de tablas prediseñadas?

CASO 26 (p. 223). ¿Cómo es el método del indicador modificado, MIM, de carga de máquinas? ¿Cómo se lo aplica cuando la asignación de los pedidos se efectúa considerando sólo el menor tiempo de procesamiento rígidamente sin presiones de prioridades?

CASO 27 (p. 227). ¿Qué uso puede darse a los algoritmos de Johnson y de Ignall, Schrage y Lomnicki? ¿Cuál es el orden de procesamiento óptimo de una cartera de órdenes de trabajo de igual secuencia operativa?

CASO 28 (p. 245). ¿Cómo se debe efectuar la programación de trabajos catalogados como urgentes en talleres donde se elaboran unitariamente o en pequeñas series piezas por pedido directo? ¿Cómo se utilizan los diagramas multiproducto combinados con los de Gantt? ¿Qué es el período estándar de programación? ¿Cómo se utiliza el método gráfico de secuenciación de dos pedidos en n estaciones de trabajo?

CASO 29 (p. 251). Si se cuenta con un conjunto de máquinas en las que se pueden realizar los mismos trabajos con diferentes costos unitarios, ¿es posible la asignación a las n máquinas de n trabajos de modo tal que la suma de los costos unitarios resulte la mínima posible? ¿Cuál es la metodología de cálculo de los costos unitarios? ¿Cómo se utiliza el algoritmo de Little para resolver problemas de este tipo en la programación semanal?

CASO 30 (p. 261). ¿Será factible lograr cuando se requiere la máxima producción de un artículo, siendo posible utilizar más de una máquina de características diferentes por capacidad horaria y costo unitario, que dicha producción se obtenga a un mínimo costo? ¿Cómo se utiliza el algoritmo de Basucker y Gowen para resolver problemas de este tipo?

CASO 31 (p. 269). ¿Cómo se utiliza el simograma de actividades múltiples en la distribución de tareas de una cuadrilla personal? ¿Cómo se le utiliza en la producción en lotes? ¿Cómo se confeccionan los diagramas de operaciones y de flujo del proceso? ¿Cómo se hace un balance de materiales? ¿Cómo se calculan las capacidades de procesamiento y producción?

CASO 32 (p. 279). ¿Por qué se establecen puntos de control diario en los procesos de producción continua y por lotes? ¿Cómo se utiliza el sistema de control LOB? ¿Cómo se confeccionan y definen: diagrama de ordenamiento, puntos clave de control, diagrama de objetivos de producción, diagrama de avance, línea de balance y parte diario de producción?

CASO 33 (p. 283). ¿Cómo se utilizan los diagramas o cartas Gantt en el control de la producción? ¿Cómo se utilizan los partes diarios y los cuadernos de obra para el seguimiento de la labor de una cuadrilla? ¿Qué son: cursor de control, vector avance y extensión? ¿Cómo se comprueba la eficiencia de la

cuadrilla? ¿Cómo se adoptan medidas correctivas para el cumplimiento de los plazos señalados en la programación?

CASO 34 (p. 287). ¿Cómo se mide la productividad conjunta y específica de los factores de la producción? ¿Por qué interesan los conceptos de rendimiento, eficiencia, eficacia, rentabilidad, margen de utilidad sobre ventas, rotación del activo corriente, rentabilidad marginal de un proyecto y recuperación? ¿Qué es la gerencia por objetivos o resultados? ¿Qué es el control por excepción? ¿Cómo se construye y utiliza un tablero de comando?

CASO 35 (p. 295). ¿Cómo se definen paro dispuesto, paro operativo, paro vario y merma? ¿Qué son las horas posibles, disponibles, nominales y teóricas? ¿Cuáles son los indicadores estandarizados para medir la utilización, el rendimiento comercial e industrial, y la eficiencia nominal de la maquinaria?

CASO 36 (p. 301). ¿Qué es la contabilidad industrial o de costos? ¿Cómo se confecciona una cotización? ¿Cómo se efectúa la distribución de los gastos y contribuciones entre los centros productivos? ¿Cómo se calculan los costos horarios para un nivel de actividad? ¿Plazo de entrega, precio y forma de pago? ¿Qué son y cuándo se utilizan tarifas horarias y factores de beneficios sociales, gastos generales y utilidades? ¿Cuáles son los gastos reembolsables?

CASO 37 (p. 311). ¿Por qué se utiliza el pert cuando los plazos de entrega de un trabajo deben ser suficientemente confiables? ¿Cómo se utiliza el pert-cost cuando deben reducirse los plazos de entrega? ¿Cuál es la información necesaria para calcular la pendiente de costos directos de las actividades?

CASO 38 (p. 317). ¿Cómo se confecciona el sistema administrativo de órdenes de trabajo? ¿Cómo es un registro de órdenes de trabajo? ¿Cuál es el contenido de un archivo de productos? ¿Cómo se preparan las órdenes de trabajo y los vales de materiales? ¿Cómo se introducen los subsistemas de prioridades, de control de tareas y de seguimiento? ¿Cómo se efectúa el control de entregas, la valorización del consumo de materiales, el cómputo de horas-hombre y la valorización de los costos horarios de fabricación? ¿Cómo es el reporte de órdenes de trabajo?

EN EL ÁREA DE LOGÍSTICA

CASO 39 (p. 325). ¿Qué usos se dan a los despieces y diagrama de acoplamiento? ¿Para qué se utilizan los grafos y matrices de Gozinto? ¿Cómo se confeccionan los pedidos de suministros para la elaboración y ensamble de productos complejos?

CASO 40 (p. 335). ¿Cómo se clasifican los artículos para efectos de gestión de stocks? ¿Cuál debe ser el contenido de información de un kárdex administrativo? ¿Cómo se calculan los costos de pedido, posesión y agotamiento? ¿Cómo se calculan cantidad a reponer y periodicidad de aprovisionamiento? ¿Qué indican diagrama de Davis y fórmulas de Camps? ¿Cómo se calcula el stock de protección?

CASO 41 (p. 343). ¿Qué es y cómo se diseña un calendario de reaprovisionamiento? ¿Cómo se conforman los bloques de reposición mensual, trimestral, semestral y anual? ¿Cómo se utiliza la ley de

Pareto en una clasificación ABC? ¿Cómo se codifican los artículos almacenados? ¿Cómo se calcula el estándar de personal necesario para la gestión de compras? ¿Cómo se preparan los pedidos de suministro de los artículos incluidos en un bloque?

CASO 42 (p. 349). ¿Cómo debe ser la gestión de stocks en un almacén de productos terminados? ¿Cómo pueden calcularse periodicidad y nivel óptimo de inventario de esos productos? ¿Cómo se utiliza el método probabilístico 1-2-3 para el cálculo de la periodicidad económica y el stock máximo?

CASO 43 (p. 357). ¿Cómo se regula la producción desde el almacén de productos terminados? ¿Qué políticas deben establecerse para los stocks de protección? ¿Cómo se utiliza el método de la escala móvil? ¿Cómo se recurre al juego de los stocks y se definen programas de producción mensual variables?

CASO 44 (p. 363). ¿Qué son los carteles kanban? ¿Qué es la producción justo a tiempo y el sistema TPO? ¿Cómo se introduce el sistema kanban en la administración de producción y logística? ¿Cuál es el procedimiento en la circulación de contenedores y en la colocación y retiro de carteles de transporte y producción?

CASO 45 (p. 373). ¿Qué es la buena pro? ¿Cómo se utiliza el método de comparación de resultados múltiples de Bridgeman en la evaluación de propuestas? ¿Cuáles son los factores predominantes en una evaluación de mérito? ¿Por qué el método recurre al análisis adimensional calificando por factores y ponderándolos exponencialmente?

CASO 46 (p. 377). ¿Por qué en un concurso de precios éstos deben ser ajustados considerando forma de pago y características del crédito ofertado? ¿Cómo se calcula el valor actual neto, VAN, de cada propuesta?

CASO 47 (p. 381). ¿Cómo participa el control de calidad en la selección de proveedores? ¿Cómo se utiliza el método de la vida útil para evaluar alternativas considerando simultáneamente precio y calidad?

CASO 48 (p. 383). ¿Cuáles pueden ser los beneficios de la compra por cantidad? ¿Qué descuentos pueden justificarla? ¿Cómo se evita que las fórmulas de Camps sean afectadas por la pérdida del poder adquisitivo de la moneda? ¿Por qué los errores de apreciación del costo de pedido y la tasa de posesión de Parrish no las afectan mayormente?

CASO 49 (p. 387). ¿Cómo deben redactarse los procedimientos? ¿Qué son la matriz de condiciones y acciones, el diagrama de banderas, el ordinograma y la escritura lógica condensada? ¿Cómo se diseña un reglamento de adquisiciones con estos métodos?

CASO 50 (p. 393). ¿Qué es el análisis de valor? ¿Por qué es tarea de compras? ¿Cuál es la función de un bien o servicio? ¿Cuáles sus valores de uso, estima, costo e intercambio? ¿Cómo se organiza y actúa un comité de análisis de valor? ¿Cómo se calcula el valor y se selecciona el bien o servicio que mejor satisfaga la función requerida?

CAPÍTULO I

PROYECTOS

Asignación de recursos a una cartera de proyectos

Utilización	Si las gerencias divisionales de una empresa sugieren inversiones en los organismos que dirigen con la finalidad de incrementar su productividad, es factible efectuar una eficiente distribución de recursos financieros limitados por las posibilidades de inversión, estimando previamente los beneficios económicos –utilidades– que se obtendrían por las reducciones de costos y aumentos de ventas con cada partida presupuestal.
Teoría	Programación dinámica discreta
Bibliografía	TAHA, H. <i>Investigación de operaciones</i> . 5a. edición. México: Alfaomega, 1994, p. 404.
Modelo práctico	Se sabe que asignando recursos (\$) para mejorar la gestión operativa de las divisiones fundición (A), máquinas herramientas (B), prensas y guillotinas (C), soldadura (D) de una empresa se puede lograr en algunos casos ahorros y en otros mayores ventas con utilidades.

En la división A, que actualmente contribuye aportando a la empresa beneficios anuales del orden de 24 mill.\$, existe un proyecto mediante el cual con una inversión de 2 mill.\$ los beneficios se incrementarían en 3 mill.\$ anuales.

En la división B, por otra parte, cada 1 mill.\$ que se invierta se lograría incrementar su contribución actual a los beneficios de la empresa, que es del orden de 20 mill.\$ en 1 mill.\$.

En la división C, que contribuye actualmente con beneficios anuales de 16 mill.\$ existe un plan de mejoras de métodos que con una inversión de 1 mill.\$ permitiría un incremento de beneficios de 1 mill.\$ anuales, plan que se haría mucho más interesante si la empresa asignara a la división 2 mill.\$ en cuyo caso los beneficios del plan serían de 4 mill.\$.

En la división D, que aporta utilidades a la empresa del orden de 10 mill.\$ anuales, finalmente, existen dos proyectos del mismo orden de magnitud de inversión:

Py	Características	Inversión (en mill. \$)	Beneficios (en mill.\$/año)
D1	Equipamiento	1	4
D2	Racionalización	1	2

Frente a este conjunto de propuestas, existiendo la posibilidad de disponer de recursos para invertir, del orden de 3 mill.\$, ¿cómo debería asignarlos la empresa?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

El problema se puede tabular mediante una matriz insumo-producto, donde los insumos son posibles montos de inversión y los productos los beneficios divisionales.

División	Inversión (mill.\$)			
	0	1	2	3
A	24	24	27	27
B	20	21	22	23
C	16	17	20	20
D	10	14	16	16*

Beneficios actuales: 70 mill.\$

La técnica para resolver el problema es la programación dinámica (discreta cuando se representa mediante tablas; continua cuando se puede representar mediante una función la eficiencia del sistema). La programación dinámica se basa en la presentación del problema descompuesto en subproblemas como porciones del problema mayor denominados etapas.

ETAPA I

A ==>

ETAPA II

A+B ==>

ETAPA III

A+B+C ==>

ETAPA IV

A+B+C+D

Paso 1: Etapa I, razonando así: si se tienen las alternativas de asignar 0, 1, 2 o 3 mill.\$, se le podría asignar a A 0, 1, 2 o 3 mill.\$, resultando que la contribución de la división A a los beneficios de la empresa los modificaría así:

ETAPA I (A)	Se le puede asignar a A				Beneficio máximo	
Si se debe asignar	0	1	2	3	de A	Decisión
0	24	---	---	---	24	0
1	24	24	---	---	24	0
2	24	24	27	---	(27)	2
3	24	24	27	27	27	2

Paso 2: Si se tiene las alternativas de asignar: 0,1,2 o 3 mill.\$ a B asignando el resto a A, resultando que la contribución de la división B a los beneficios de la empresa los modificaría así:

ETAPA II (A+B)	Se le puede asignar a B asignando el resto a A				Beneficio máximo	
Si se debe asignar	0	1	2	3	de A+B	Decisión
0	44	---	---	---	44	0
1	44	45	---	---	45	1
2	47	45	46	---	47	0
3	47	48	46	47	(48)	1

La tabla se confecciona de la siguiente manera: Por ejemplo para el casillero 2-1, si se debe asignar 2 y se decide asignar 1 a B, el restante se le debe asignar a A obteniendo el siguiente beneficio:

Inversión	División	Beneficio
1	B	21
1	A	24
2		45

TOTAL

Paso 3: Si se tienen las alternativas de asignar: 0, 1, 2 o 3 mill.\$ y podría asignar a C 0, 1, 2 o 3 mill.\$ asignando el resto a A+B (etapa anterior) resultando que la contribución de la división C a los beneficios de la empresa los modificaría así:

ETAPA III (A+B)	Se le puede asignar a C asignando el resto a A+B				Beneficio máximo	
Si se debe asignar	0	1	2	3	de A+B+C	Decisión
0	60	---	---	---	60	0
1	61	61	---	---	61	0
2	63	62	64	---	64	2
3	64	64	65	64	(65)	2

La tabla se confecciona de la siguiente manera. Por ejemplo para el casillero 3-2 si se debe asignar 3 mill.\$ y se decide asignar 2 mill.\$ a C, el restante se le debe asignar a A+B obteniéndose el siguiente beneficio:

Inversión	División	Beneficio
2	C	20
1	A+B	45
3		65

(del paso 2)
TOTAL

Paso 4: Si se tienen las alternativas de asignar 0, 1, 2 o 3 mill.\$, se lo podrían asignar a D 0, 1, 2, o 3 mill.\$ asignando el resto a A+B+C (etapa anterior), resultando que la contribución de la división D a los beneficios de la empresa los modificaría así:

ETAPA IV (A+B+C+D)	Se le puede asignar a D asignando el resto a A+B+C				Beneficio máximo de A+B+C+D	Decisión
Si se debe asignar	0	1	2	3		
0	70	---	---	---	70	0
1	71	74	---	---	74	1
2	74	74	76	---	76	2
3	75	78	77	76	(78)	1

El resultado del caso-estudio se logra recorriendo ahora las etapas en forma inversa obteniendo el siguiente cuadro:

Etapas	Asignando a	Se debe asignar el resto a	Considerando que el beneficio máximo es
IV	D	C + B + A	78 mill.\$
	1 mill.\$	2 mill.\$	
III	C	B + A	65 mill.\$
	2 mill.\$	0 mill.\$	
II	B	A	48 mill.\$
	0 mill.\$	0 mill.\$	
I	A		27 mill.\$
	0 mill.\$		

Con la inversión de 3 mill.\$ se maximizan los beneficios de la empresa, elevándolos, de 70 a 78 mill.\$ asignando:

División	Inversión mill.\$	Beneficio mill.\$
D	1	14
C	2	20
B	0	20
A	0	24
TOTAL	3	78

APLICACIÓN AL ÁREA DE PRODUCCIÓN

Existiendo demanda de productos de los grupos de máquinas A, B, C y D, una empresa que puede disponer de 3 mill.\$ para asignar a la expansión de su producción en el próximo bienio, debe decidir cómo distribuirlos. Para este fin se han calculado las contribuciones de cada grupo a las utilidades que se acumularían en el bienio sin cambios en el sistema de producción y los beneficios adicionales que se obtendrían con las inversiones presupuestadas:

Plan	Destino	Contribución actual	Inversión	Utilid. adicionales
1	A	24 mill\$	2 mill\$	3 mill\$
2 Alt. 1	B	20 mill\$	1 mill\$	1 mill\$
Alt. 2			2 mill\$	2 mill\$
Alt. 3			3 mill\$	3 mill\$
3 Alt. 1	C	16 mill\$	1 mill\$	1 mill\$
Alt. 2			2 mill\$	4 mill\$
4	D	10 mill\$	1 mill\$	4 mill\$
5			1 mill\$	2 mill\$

El resultado sería: asignar al plan 4: 1 mill.\$ y al 3.2 los restantes 2 mill.\$.

Estimación de la demanda per cápita y de la curva de saturación del mercado de un bien durable

Utilización	En la planificación de ventas y producción de un bien durable, los elementos básicos que se necesitan establecer son: la demanda per cápita habida cuenta de los factores que la condicionan y la curva de saturación del mercado que es inferible.
Teoría	Teoría del pronóstico
Bibliografía	HP-12C Solutions Handbook, Forecasting: Gompertz Curve Trend Analysis
Modelo práctico	En 1982 EMVISA decidió instalarse en un mercado cuya población según censo de 1974 (codificado como año 0) era de 3,474 habitantes con una tasa de crecimiento demográfico de 2.8% anual. Entre sus objetivos estaba la introducción en dicho mercado de los balones de gas.

La demanda potencial pudo entonces estimarse observando para cada una de las cuatro zonas geográficas que lo componen, la existencia de "factores" que condicionan la demanda global de un producto que por ser durable está definida por el ratio demanda per cápita [unidades/habitante].

En 1983 se inició la producción y venta, manteniéndose desde entonces el monopolio con los siguientes resultados:

Año	X_i	Ventas Y_i (miles de unidades)
1983	0	23
1984	1	88
1985	2	176
1986	3	234
1987	4	234
1988	5	188

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Cálculo de la demanda potencial del mercado mediante la definición de los factores que condicionan la demanda global de balones de gas:

- F_1 Coeficiente que considera el hecho que el producto no es de uso personal, sino familiar y consecuentemente expresa el número de viviendas/habitante.
- F_2 Coeficiente que considera que algunos usuarios, en especial los que habitan en áreas rurales y los de altos ingresos, optan por adquirir más de un balón para evitar quedarse sin gas.
- F_3 Coeficiente que considera que en localidades con energía eléctrica, la demanda es menor.
- F_4 Coeficiente que considera la preferencia y hábito de uso por parte de algunas familias de otras fuentes de energía como kerosene y carbón.
- F_5 Coeficiente que considera que en niveles de bajos ingresos existe el impedimento de adquirir este artículo que presume ser acompañado de la compra o transformación de cocinas, estufas y otros artefactos para el hogar.

$$Y_i = 3474 (1 + 0.028)^{X_i}$$

La población del mercado que crece en forma geométrica es determinable mediante la ley de regresión estadística exponencial:

Consecuentemente la población en 1982 se estimó en 4,333 mil habitantes. El análisis de la demanda en cada zona geográfica del mercado resultó:

Zona	Habitantes (miles)	%	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	Demanda potencial (miles de unidades)	%
A	2.658	61.30	0.25	1.00	0.80	0.95	0.80	404	45.30
B	567	13.00	0.20	2.30	0.95	0.95	0.90	212	23.70
C	631	14.60	0.20	2.00	1.00	0.95	0.90	216	24.20
D	477	11.10	0.15	1.50	1.00	0.95	0.90	61	6.80
Total	4.333							893	

$$\text{Demanda per cápita} : \frac{893}{4333} = 0.2 \text{ balones / habitante}$$

Paso 2: "Jugando" contra la saturación del mercado se efectuó el pronóstico de la demanda potencial.

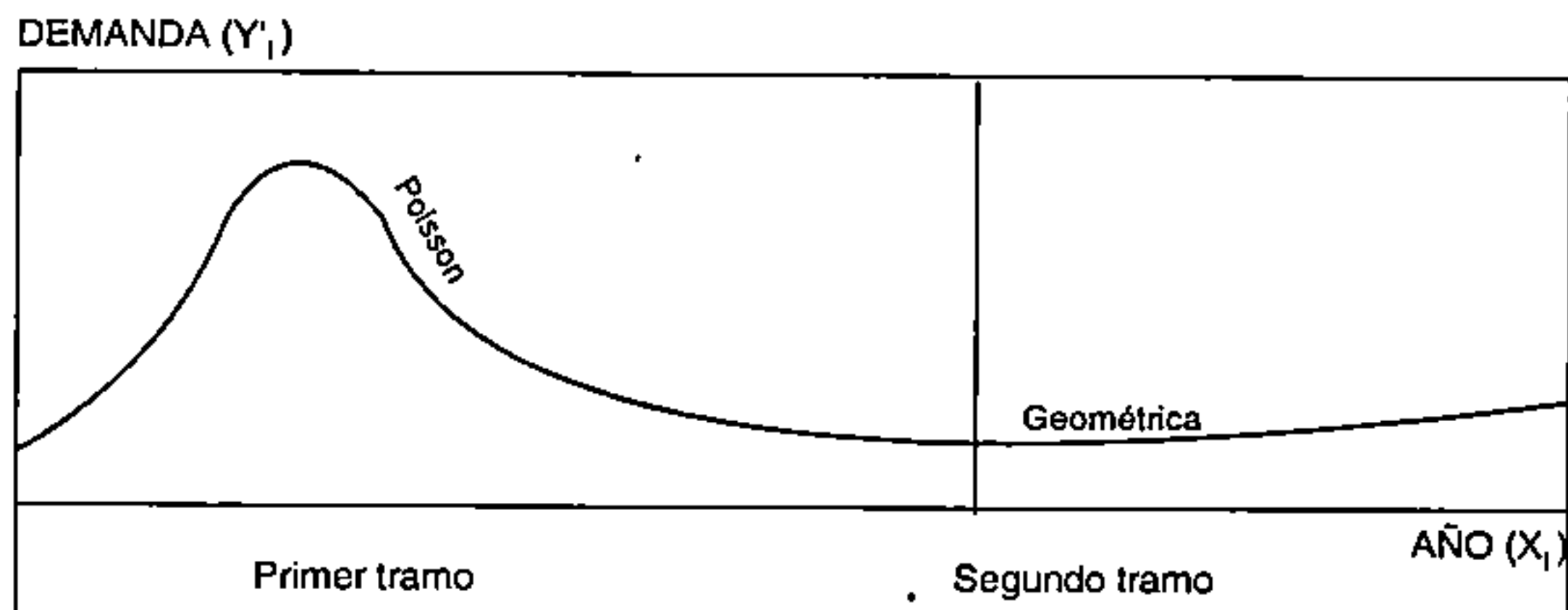
La demanda latente estimada en 893 mil unidades en 1982 se modifica en el tiempo por:

- C₁ Cuota de crecimiento demográfico del 2.8% anual
- C₂ Cuota de 0.2% anual por reposición de balones en circulación y efectos de la observación por la población de las ventajas del gas frente al kerosene y carbón que redujeron en el análisis la demanda potencial en 47 mil unidades por la consideración del factor F₄.

La demanda final total del mercado se proyecta hasta 1997 para efectos de planificar producción y ventas en el corto y mediano plazo mediante la ley exponencial $DT_i = DT_0 (1 + t)^X_i$ con una tasa de crecimiento de la demanda $t = 2.8 + 0.2 = 3\%$ anual, codificando 1982 como año 0 y con $DT_0 = 893$ mil unidades, resultando $DT_{15} = 1,391.3$ miles de unidades.

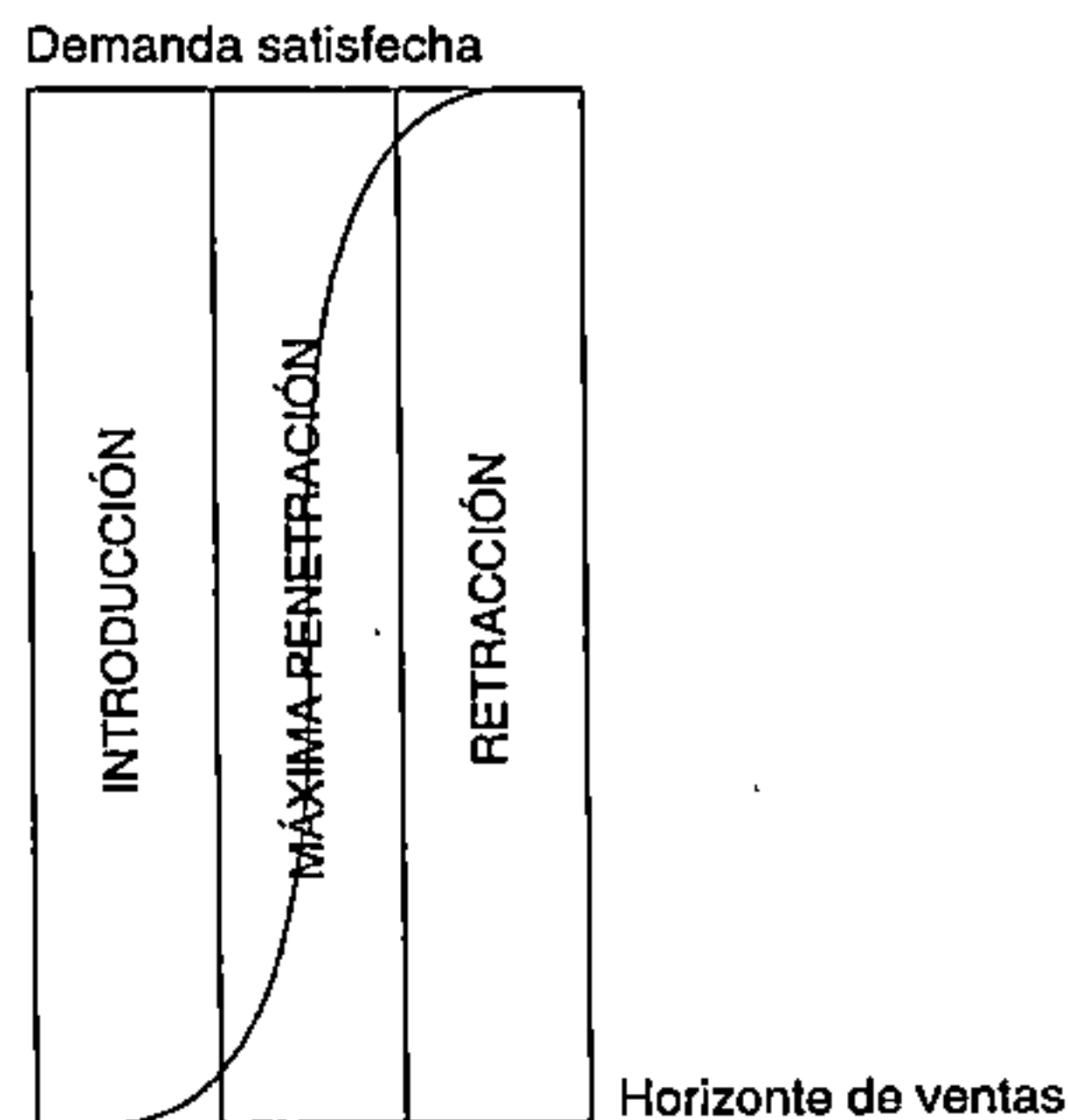
Siendo el balón de gas un bien durable, su demanda anual tiene una regresión característica:

No debe confundirse con consumo per cápita que se expresa en unidades/habitante.año y es utilizable en bienes no durables y de consumo.



La expresión $Y_i = a \frac{e^{-b} b^{X_i}}{X_i!}$ de Poisson es aplicable para efectuar predicciones en el corto plazo (Primer tramo - 5 a 6 años)

Además las ventas acumuladas podrán ser representadas por curva "S" de Gompertz:



Para establecer una ley de regresión se presupone idéntica la demanda de dos años consecutivos en la cúspide de ventas; en el primero con tendencia creciente; en el segundo con tendencia decreciente.

En este ejemplo: para $X_3 = 3$, $Y_3 = 234$; para $X_4 = 4$, $Y_4 = 234$. Partiendo de la expresión

$Y' = f(x) = a \frac{e^{-b} b^x}{x!}$ se establecen dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{234}{a} = \frac{e^{-b} b^3}{3!} \\ \frac{234}{a} = \frac{e^{-b} b^4}{4!} \end{array} \right.$$

De donde $b = 4$; $a = 1198$

Resultando la regresión:

$Y = 21.9338 \frac{4^x}{x!}$ con 1983 codificado ahora como año 0:

Año	X_i	Y_i	Y'_i	Venta acumulada (Miles)
1983	0	23	22	23
1984	1	88	88	111
1985	2	176	175	287
1986	3	234	234	521
1987	4	234	234	755
1988	5	188	187	943

Nota: Esto demuestra que, con el conocimiento de la demanda potencial del mercado (la total para el horizonte de 15 años, en este caso), las dificultades de penetración, y la capacidad de producción (234 mil/año en este caso), se pueden hacer predicciones, aún antes de iniciarse la producción, para los dos años de introducción, los dos de máxima penetración, y los dos primeros de retracción, pudiendo entonces proyectarse la demanda de los siguientes años, mediante la ley de regresión de Gompertz.

Los pronósticos o predicciones en el mediano plazo deben efectuarse con la curva "S" de Gompertz

$$\Sigma Y'_i = a \times b^{c \times x}$$

la misma que es determinable en forma directa cuando se cuenta con al menos tres pares de valores de INTRODUCCIÓN (Grupo I), MÁXIMA PENETRACIÓN (Grupo II) y SATURACIÓN (Grupo III), es decir, igual número de datos de las fases de introducción, apogeo y retracción de ventas, con la restricción: Valores de X igualmente espaciados.

Año	X_i	Grupo	Demanda satisfecha	$Y_i = \sum_{i=0}^i Y_i$
1983	1	I		23
1984	2			111
1985	3	II		287
1986	4			521
1987	5	III		755
1988	6			943

Los coeficientes a, b y c, han sido calculados resolviendo el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Grupo I: } \sum_{i=1}^n \ln Y_i = n \ln a + c \ln b \frac{c^n - 1}{c - 1} \\ \text{Grupo II: } \sum_{i=n+1}^{2n} \ln Y_i = n \ln a + c^{n+1} \ln b \frac{c^n - 1}{c - 1} \\ \text{Grupo III: } \sum_{i=2n+1}^{3n} \ln Y_i = n \ln a + c^{2n+1} \ln b \frac{c^n - 1}{c - 1} \end{array} \right.$$

En este caso, siendo el número de datos por grupo $n = 2$ resulta:

$a = 1370.71$ (Demanda potencial total para un horizonte de 15 años)

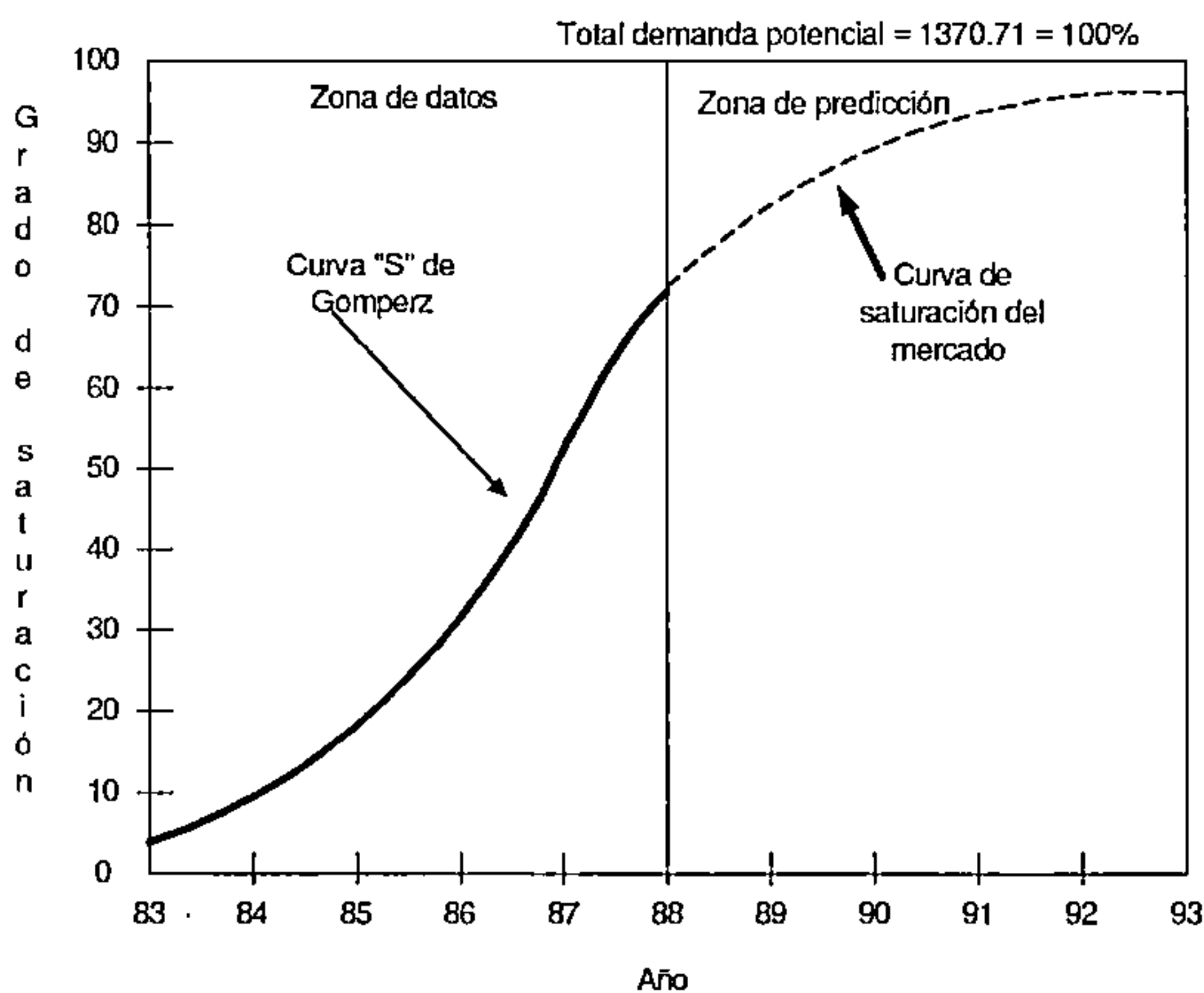
$b = 0.00138$

$c = 0.6192$

Resulta: $\sum_{i=0}^i Y' = 1370.71 \times 0.00138^{0.6192} X_i$

	X_i^I	Año	X_i	Y_i	$\sum Y_i$	$\sum_{i=0}^i Y_i^I$	Y_i^I
Zona de datos	0	1983				1,89	1,89
	1	1984	0	23	23	23,23	21.33
	2	1985	1	88	111	109,74	86.51
	3	1986	2	176	287	287,03	177.30
	4	1987	3	234	521	520.60	233.56
	5	1988	4	234	755	752,67	232.08
	6	1989	5	188	943	945.68	193.01
Zona de predicción	7	1990	6			1089.25	143.58
	8	1991	7			1188.88	99.63
	9	1992	8			1255.09	66.21
	10	1993	9			1297.92	42.83
	11	1994	10			1325.17	27.25

En el gráfico se muestran las curvas correspondientes al horizonte de ventas y ventas acumuladas. Las ventas acumuladas llegarán a satisfacer en el año 1993 el 96.7% de la demanda potencial total.



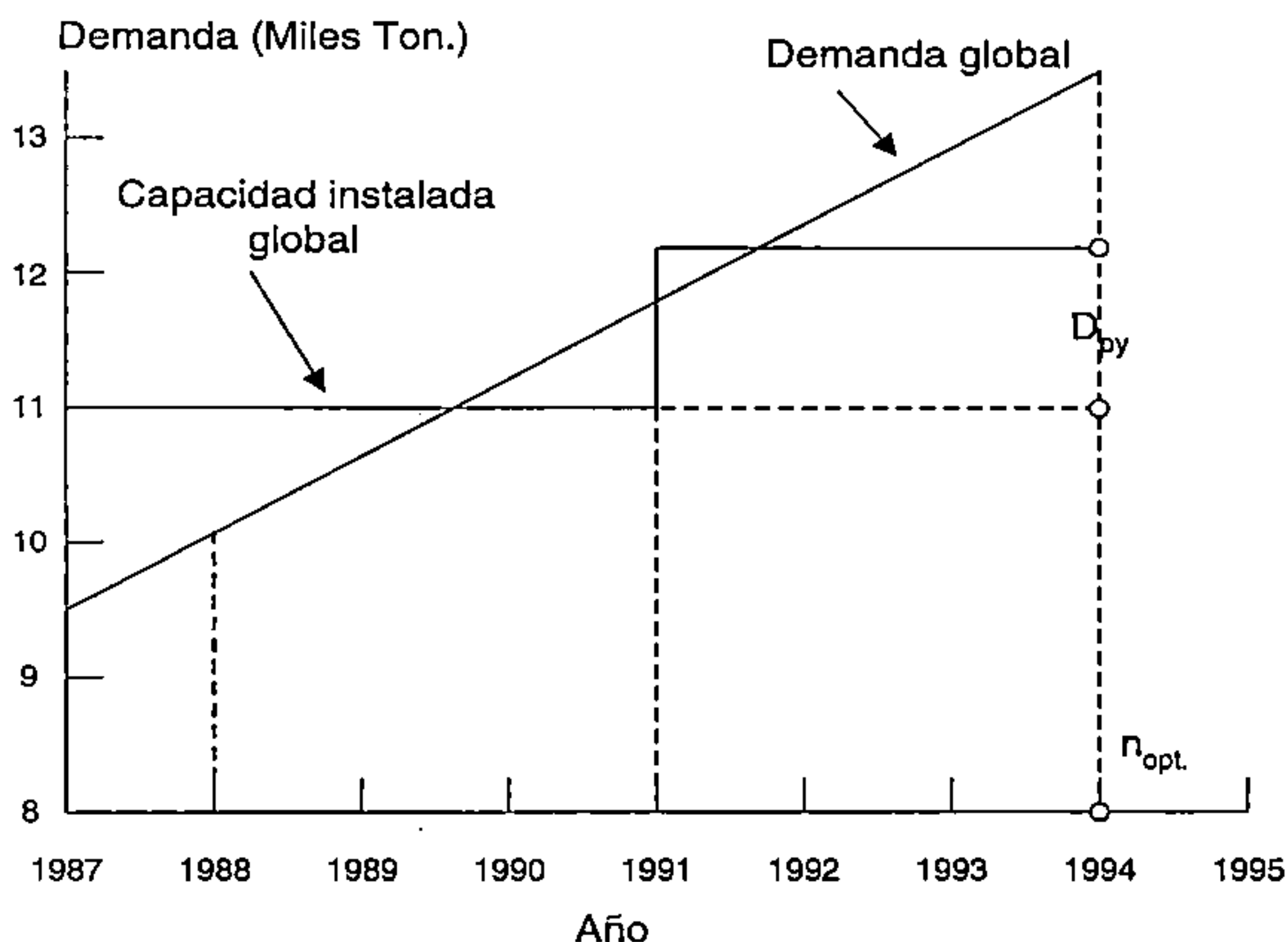
Método del período óptimo en la definición del tamaño de planta como función de la demanda para un proyecto

Utilización	La relación tamaño-demanda, fundamental para la definición del tamaño de planta en estudios de preinversión con el complemento posterior de otras relaciones como tamaño-inversión y tamaño-disponibilidad de insumos, puede ser calculada mediante el método del período óptimo, que no es otra cosa que el año de operación para el cual la unidad productiva debe alcanzar su máxima producción, como función del horizonte de operación planeado, la tasa de crecimiento de la demanda y el exponente de la función: $\text{Inversión} = a \times \text{tamaño}^b$ ($0 < b < 1$).
Teoría	Teoría del tamaño de planta.
Bibliografía	Estudios de preinversión diversos.
Modelo práctico	En 1988, y durante el desarrollo de un estudio de factibilidad para la producción de fórmica destinada al mercado latinoamericano se observó lo siguiente: 1. El proyecto podría ser puesto en operación en enero de 1991 según el cronograma de actividades necesarias para su ejecución. 2. El análisis de la demanda realizado en 1988 ha permitido determinar que ella es de 10,000 ton. anuales y que el grado de penetración del mercado puede ser $GP = 10\%$. 3. La tasa de crecimiento anual de la demanda es de 5%. 4. La inversión (mill.\$) en función del tamaño (ton.) está dada en este tipo de proyectos por la potencial $I = 0.04T^{0.6}$.

Se desea determinar el tamaño óptimo de planta como función de la demanda para el proyecto $T_0 = f(D_{Py})$.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Nuevos proyectos y proyectos de ampliación se ejecutan cuando la capacidad productiva de la oferta está siendo superada por la demanda.



Paso 1: La siguiente fórmula ha sido desarrollada experimentalmente para el cálculo del período óptimo:

$$\frac{1}{(1+r)^n} = 1 - \frac{2(1-b)}{b} \times \frac{(1+r)-1}{(1+r)+1} \times (N-n)$$

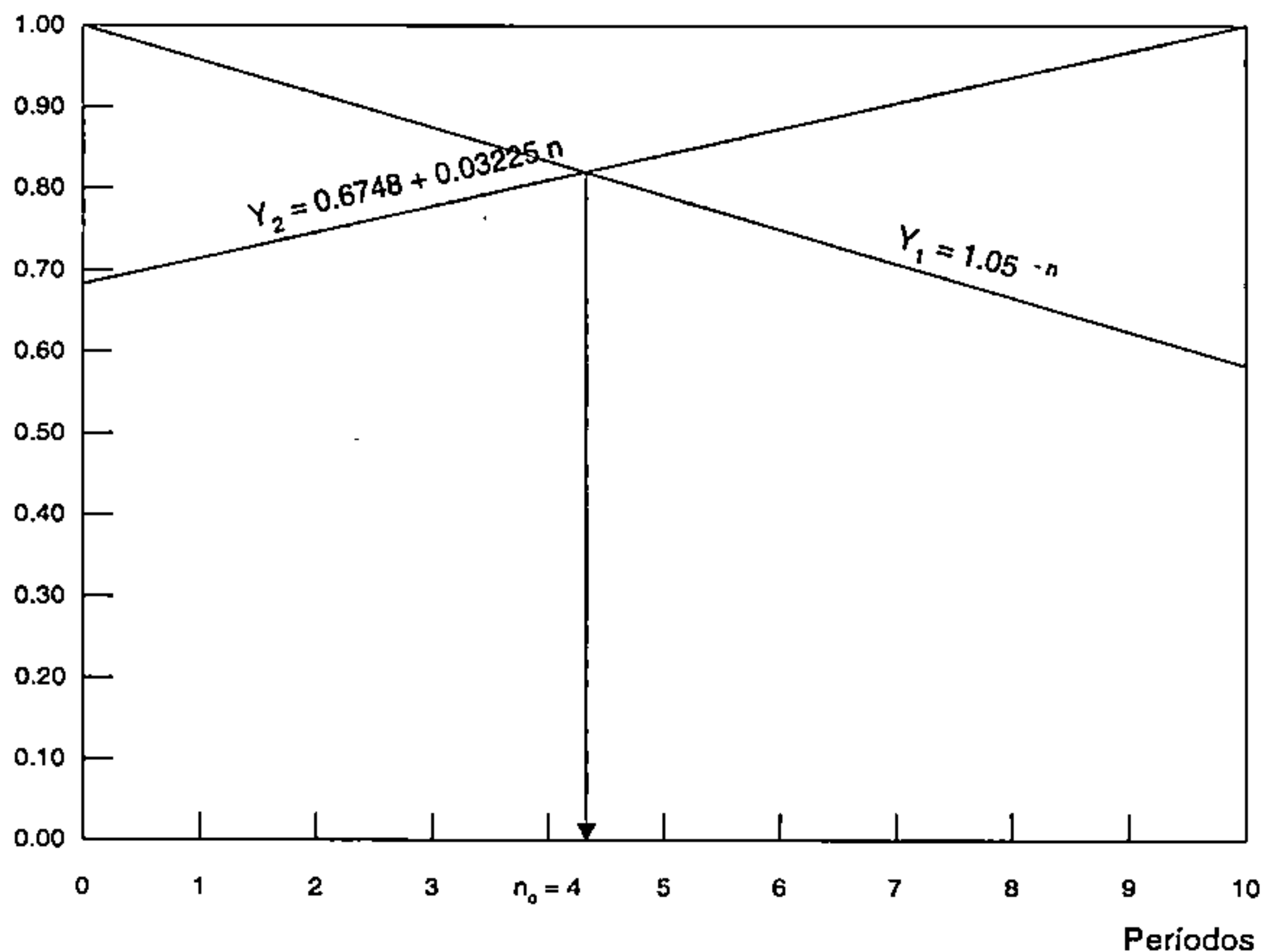
- donde:
- n Período óptimo
 - N Horizonte de producción previsto para el Py.
 - r Tasa de crecimiento geométrico de la demanda
 - $D_i = D_0(1+r)^i$
 - b Exponente de la expresión $I = aT^b$ correspondiente a este tipo de proyecto.

En el proyecto:

$$\frac{1}{(1.05)^n} = 1 - \frac{2(0.4)}{0.6} \times \frac{0.05}{2.05} \times (10 - n)$$

$$1.05^{-n} = 0.6748 + 0.03225n$$

Paso 2: Con la ayuda del método gráfico se calcula n_{opt} .



Paso 3: Una vez determinado el período óptimo, el año cuarto de operación, se procede a establecer la demanda para el proyecto en dicho año: 1994, tomando como base la demanda global de 1988 y el grado de penetración esperado.

La demanda se calcula con la siguiente fórmula:

$$\left. \begin{aligned} D_i &= D_0(1+r)^i \\ GP &= \frac{D_{PY_i}}{D_i} \end{aligned} \right\} D_{PY_i} = GP \times D_0(1+r)^i$$

Año	i	n
1988	0	
1989	1	
1990	2	
1991	3	1
1992	4	2
1993	5	3
1994	6	4

Como el proyecto puede captar $GP = 10\%$ de la Demanda Global y la Tasa de Crecimiento de la Demanda $r = 5\%$ anual:

$$D_{p_{y_6}} = 0.1 \times 10000 (1 + 0.05)^6 = 1340 \text{ Ton}$$

$$\text{consecuentemente : } T = f(D_{p_y}) = 1340 \text{ Ton/año}$$

Inversión/tamaño, economía de escala

Utilización	Si en la formulación de un proyecto, con el desarrollo de los estudios de preinversión, se puede disponer de la ley de regresión $\text{Inversión} = f(\text{Tamaño})$, se reducirán los costos de diseño y se harán más confiables los presupuestos.
Teoría	Teoría del pronóstico, regresión estadística.
Bibliografía	Fuentes de información: proyectos y proyectistas.
Modelo práctico	Las inversiones en tres proyectos desarrollados en distintos sitios para la producción de litargirio (OPb):

Proyecto	Año	Inversión (mill. de \$)	Tamaño (mill.ton/Año)
A	1979	4.50	8
B	1983	3.79	4
C	1985	9.65	11

¿Cuál será el presupuesto de inversión para distintos tamaños de planta?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Luego de verificar que los proyectos consideren insumos, procesos, especificaciones del producto e infraestructura empresarial semejante, se actualizan los montos de inversión (en \$ de mediados de 1988), considerando la pérdida del poder adquisitivo de la moneda de referencia:

Período	%	Factor de actualización
1979-80	11.3	1.796
1980-81	12.8	1.814
1981-82	9.8	1.431
1982-83	7.4	1.303
1983-84	4.6	1.213
1984-85	3.6	1.160
1985-86	3.5	1.119
1986-87	3.8	1.082
1987-88	4.2	1.042

Resultando:

Tamaño (mil.ton/año)	Inversión (mill.de \$)	I/T (\$/ton.año)
4	4.60	1,150
8	8.08	1,010
11	10.80	982

Un buen banco de datos para proyectos de inversión es aquel que contiene:

1. Demanda per cápita del producto
2. Flujograma del proceso de producción
3. Ratio inversión/tamaño (I/T)

En este caso, algún experto pudo decir que se requieren entre 980 y 1,150 \$/ton/año de litargio producido.

Estos ratios inversión/tamaño son de gran interés. Así por ejemplo:

- Un proyecto hidroeléctrico requiere de 3'600,000 \$/megavatio de potencia instalada o de 800,000 \$/gigavatio/año de energía firme producida.
- Una planta para la producción de cemento de 50,000 \$/ton/día de caliza procesada.

Pero en todos los casos se observa, al igual que en este proyecto de producción de litargirio, la existencia de una economía de escala fácilmente entendible por la incidencia del costo de la ingeniería y administración en la etapa de inversión.

$$I = aT^b$$

Paso 2: Se calcula $I = f(t)$ sabiendo que esta función debe ajustarse a una curva potencial: $I = aT^b$ donde $0 < b < 1$, por la existencia de economía de escala.

La ley de regresión estadística se obtiene por el método de los mínimos cuadrados con los siguientes pares de datos:

y_i	x_i
4.60	4
8.08	8
10.80	11

$$y_i = ax_i^b \text{ de donde: } \ln y_i = \ln a + b \ln x_i$$

El artificio de considerar:

$$\begin{aligned} \ln y_i &= Y_i \\ \ln a &= A \\ \ln x_i &= X_i \end{aligned}$$

$$\text{para resolver: } Y_i = A + bX_i$$

$$\begin{cases} -\sum Y_i + nA + b\sum X_i = 0 \\ -\sum X_i Y_i + A\sum X_i + b\sum X_i^2 = 0 \end{cases}$$

$$b = \frac{n\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$A = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = \text{antiln} A$$

X_i	Y_i	X_i^2	$X_i Y_i$
1.39	1.5261	1.9218	2.1156
2.08	2.0894	4.3239	4.3447
2.4	2.3795	5.7499	5.7058
5.8636	5.995	11.99565	12.16613
$\bar{X} = 1.9545$	$\bar{Y} = 1.9983$		

Resultando

$$b = \frac{3 \times 12.1661 - 5.8636 \times 5.9950}{3 \times 11.9956 - (5.8636)^2} = 0.838$$

$$A = 1.9983 - 0.8387 \times 1.9545 = 0.3591$$

$$a = 1.432$$

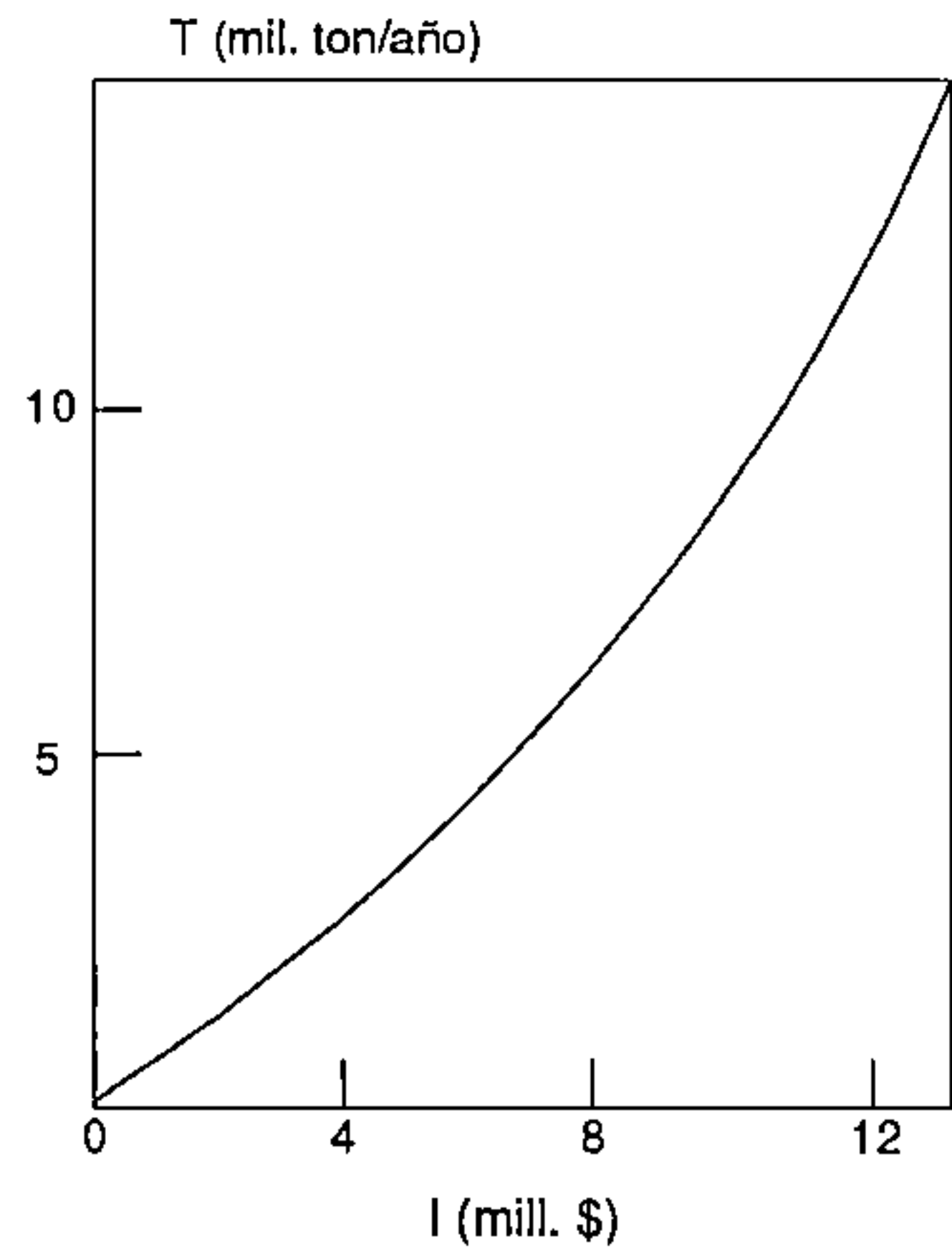
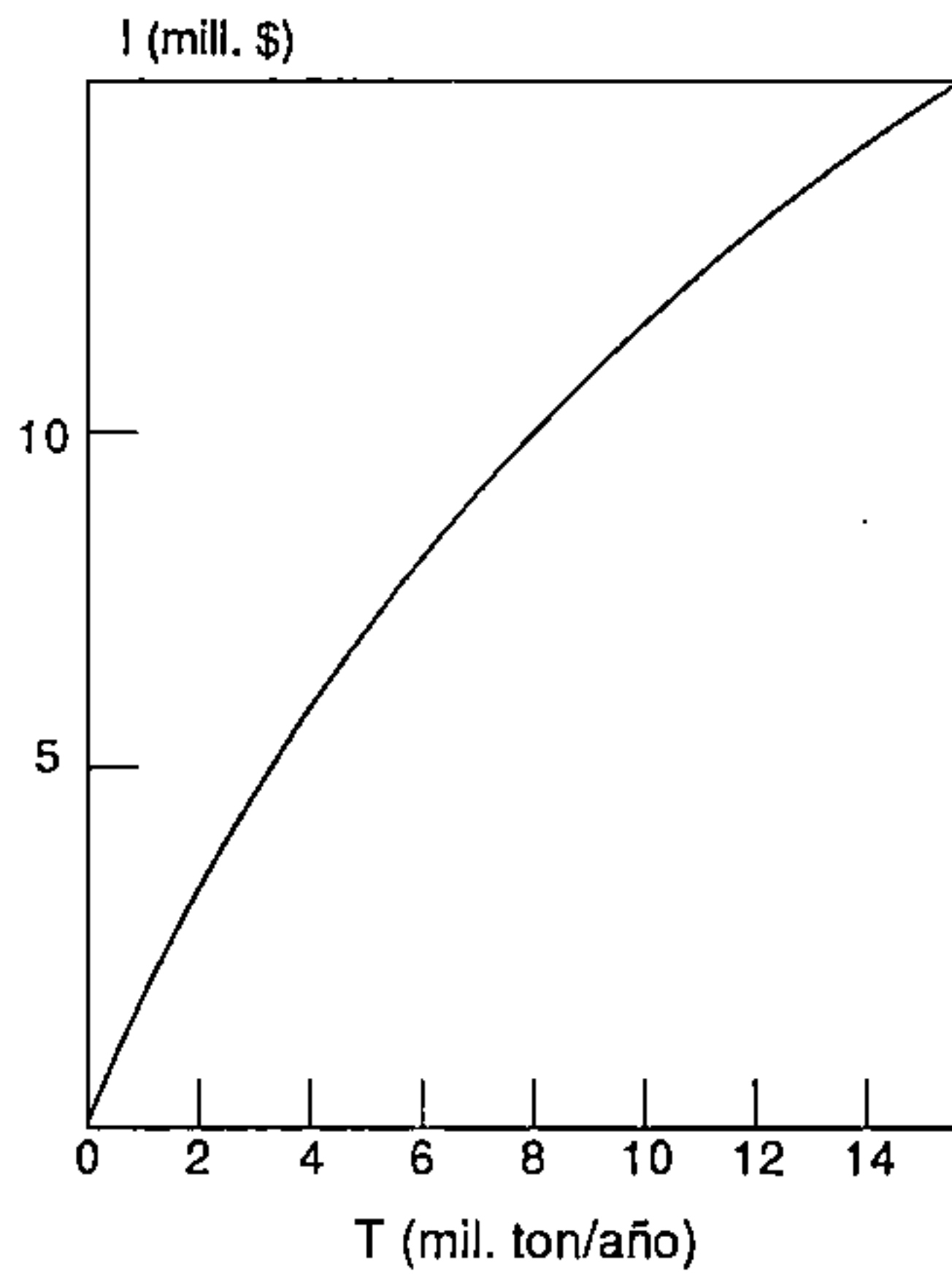
$$1 \text{ [mill\$]} = 1.432 \times T \text{ [mil. Ton/año]}^{0.8387}$$

$$\text{o tambien } T \text{ [mil. Ton/año]} = 0.6529 \times [\text{mill \$}]^{1.1914}$$

ECONOMÍA DE ESCALA

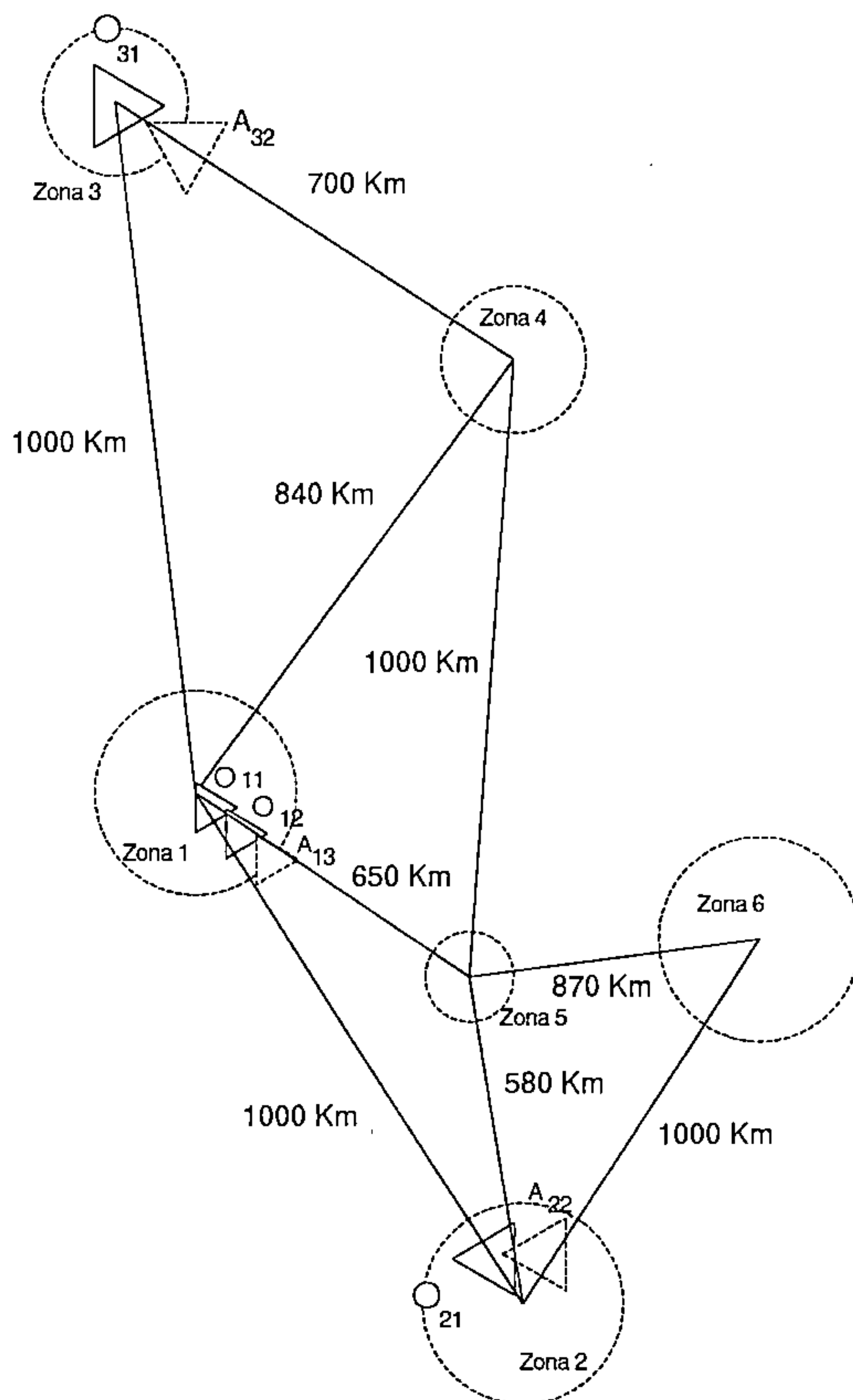
$$I = 1432 T^{0.8367}$$

$$T = 0.6529 I^{1.1914}$$



Modelo cuantitativo para la elección de la localización

Utilización	Frente a las alternativas de emplazar una planta en distintas localidades de una región, es posible escoger como la mejor alternativa aquella que satisface la teoría más aceptada, la de elegir la localización que dé por resultado el menor costo del producto a los usuarios finales.
Teoría	Teoría del menor costo a los usuarios. Modelo matemático de Baumol & Wolfe.
Bibliografía	REED, R. <i>Localización, layout y mantenimiento de planta</i> . 3a. edición. Buenos Aires: El Ateneo, 1979, p. 9.
Modelo práctico	Se está desarrollando el estudio de preinversión del proyecto de instalación de un centro de engorde - camal - frigorífico para procesar carnes rojas en un país centroamericano. Existen seis mercados zonales de interés, cuatro centros productores (O_{11} , O_{12} , O_{21} , O_{31}), y tres alternativas de localización de la nueva unidad de producción A_{13} , A_{22} y A_{32} .



La demanda en el año 1988 en los seis mercados del país es la siguiente:

Mercado zonal	%	Demanda 1988 (miles de Ton/año)
1	28	60
2	16	34
3	14	30
4	16	34
5	9	20
6	17	36
Total	100	214

Se ha estimado que el período de maduración de una inversión de este tipo es de cuatro años por la necesidad de crianza de ganado, es decir que el Centro comenzaría a operar en el año 1992. La capacidad instalada de la planta buscará cubrir la demanda insatisfecha del tercer año de funcionamiento, es decir del año 1995. Los cuadros de demanda para estos años se proyectan con la fórmula: $D_n = D_0 (1+t)^n$ donde t (tasa de crecimiento de la demanda) = 5%.

Mercado zonal	Demanda 1992 (miles de Ton/año)	Demanda 1995 (miles de Ton/año)
1	72,9	84,4
2	41,3	47,8
3	36,4	42,2
4	41,3	47,8
5	24,3	28,1
6	43,7	50,6
Total	259,9	300,9

Los centros de oferta (competidores) son los siguientes:

Mercado zonal	Oferta	Capacidad instalada (miles de Ton/año)	Precio ex-planta (\$/Kg)
1	O ₁₁	120	8
1	O ₁₂	60	9
2	O ₂₁	40	9
3	O ₃₁	25	10
		245	

Nota: El precio ex planta incluye el costo de producción más una utilidad promedio del 15% para todos los productores.

La capacidad instalada del proyecto deberá cubrir la demanda insatisfecha del año 1995 (tercer año de funcionamiento):

$$300.9 - 245 = 55.9 \text{ miles de Ton/año}$$

Los costos de transporte equivalentes a 1 \$/Kg cada 1000 Km y venta al detalle igual a 3 \$/Kg son los siguientes:

Origen-->destino	Distancia (Km)	Costo transporte (\$/Kg)	Costo venta Detalle (\$/Kg)	C.Trans. + V.detalle (\$/Kg)
1 -> 2/2 -> 1	1000	1	3	4
1 -> 3/3 -> 1	1000	1	3	4
1 -> 4	840	0,84	3	3,84
1 -> 5	650	0,65	3	3,65
1 -> 6	1520	1,52	3	4,52
2 -> 3/3 -> 2	2000	2	3	5
2 -> 4	1580	1,58	3	4,58
2 -> 5	580	0,58	3	3,58
2 -> 6	1000	1	3	4
3 -> 4	700	0,7	3	3,7
3 -> 5	1650	1,65	3	4,65
3 -> 6	2520	2,52	3	5,52

Las posibilidades de crianza y compra de ganado indican que sólo existen tres zonas factibles para localizar la planta:

Zona	Alternativa	Capac. a instalar (miles de Ton/año)	Costos de producción presupuestos (\$/Kg)
1	A13	55,9	9,2
2	A22	55,9	9,3
3	A32	55,9	9,3

¿Cuál será la mejor alternativa para localizar la planta?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

El método consiste en comparar los precios promedios ponderados del producto al usuario final, resultantes de la instalación de la planta en cada uno de los tres emplazamientos posibles.

Para ello se utilizan tres matrices que enfrentan los centros de oferta con los centros de demanda colocando en las intersecciones los *costos unitarios del producto al usuario final*.

En la primera matriz se colocará la primera alternativa de localización: A_{13}

En la segunda matriz se colocará la segunda alternativa de localización: A_{22}

En la tercera matriz se colocará la tercera alternativa de localización: A_{32}

A continuación se muestra como modelo la primera matriz:

Demanda \ Oferta	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Capacidad instalada (miles de Ton/año)
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	
O11	8	12	12	11,84	11,65	12,52	120
O12	9	13	13	12,84	12,65	13,52	60
O21	13	9	14	13,58	12,58	13	40
O31	14	15	10	13,7	14,65	15,52	25
A13	9,2	13,2	13,2	13,04	12,85	13,72	55,9
Demanda año 1995 (miles de Ton/año)	84,4	47,8	42,2	47,8	28,1	50,6	300,9

1^{ra}. Alternativa de localización

Para resolver esta matriz se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Ubicar en la matriz el menor costo al usuario (8) e intentar satisfacer la demanda de su mercado (D_1) con el centro de oferta (O_{11}). Si la capacidad instalada de esa unidad de producción (120) es

suficiente para cubrir la demanda del mercado (84.4), se resta de la capacidad instalada la demanda cubierta ($120 - 84.4 = 35.6$).

Si la capacidad instalada de esa unidad de producción no fuese suficiente, se cubrirá el resto de la demanda con otra u otras unidades de producción.

Paso 2: Volver al paso 1 y repetir el ciclo teniendo en cuenta las capacidades ociosas de las unidades de producción.

La 1^{ra} matriz queda así:

Demanda \ Oferta	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Capacidad instalada (miles de Ton/año)	Capacidad ociosa (miles de Ton/año)			
O11	8 84.4	12	12	11.84 7.5	11.65 28.1	12.52	120	35,6	7,5	0	
O12	9	13 7.8	13 11.9	12.84 40.3	12.65	13.52	60	19,7	11,9	0	
O21	13	9 40	14	13.58	12.58	13	40	0			
O31	14	15	10 25	13.7	14.65	15.52	25	0			
A13	9,2	13,2	13.2 5.3	13.04	12.85	13.72 50.6	55,9	50,6	0		
Demanda año 1995 (miles de Ton/año)	84,4	47,8	42,2	47,8	28,1	50,6	300,9				

Paso 3: Se halla el precio promedio ponderado del producto resultante de la localización de la planta en la zona 1, sumando la multiplicación de ambos miembros de cada recuadro (precio y cantidad) y dividiéndola entre el total de Kg/año demandados en el país:

$$\begin{aligned}
 \text{Precio Promedio (A}_{13}\text{)} &= 84.4 \times 8 + 7.5 \times 11.84 + 28.1 \times 11.65 \\
 &+ 7.8 \times 13 + 11.9 \times 13 + 40.3 \times 12.84 + 40 \times 9 + 25 \times 10 + 5.3 \times \\
 &13.2 + 50.6 \times 13.72 / 300.9 = \frac{3239.1}{300.9} = 10.76 \text{ \$/Kg}
 \end{aligned}$$

Paso 4: Se procede de la misma manera con las dos matrices restantes para analizar las alternativas A₂₂ y A₃₂.

Las matrices son las siguientes:

La 2^{da} matriz queda así:

Demanda Oferta	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Capacidad instalada (miles de Ton/año)	Capacidad ociosa (miles de Ton/año)			
O11	8 84,4	12	12	11,84 7,5	11,65 28,1	12,52	120	35,6	7,5	0	
O12	9	13	13	12,84	12,65	13,52	60	19,7	2,5	0	
O21	13	9	14	13,58	12,58	13	40	0			
O31	14	15	10	13,7	14,65	15,52	25	0			
A13	13,3	9,3	14,3	13,88	12,88	13,3	55,9	48,1	0		
Demanda año 1995 (miles de Ton/año)	84,4	47,8	42,2	47,8	28,1	50,6	300,9				

$$\text{Precio promedio } (A_{22}) = \frac{3188.5}{300.9} = 10.60 \text{ \$/Kg}$$

La 3^{ra} matriz queda así:

Demanda Oferta	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Capacidad instalada (miles de Ton/año)	Capacidad ociosa (miles de Ton/año)			
O11	8 84,4	12	12	11,84 7,5	11,65 28,1	12,52	120	35,6	7,5	0	
O12	9	13	13	12,84	12,65	13,52	60	19,7	11,9	0	
O21	13	9	14	13,58	12,58	13	40	0			
O31	14	15	10	13,7	14,65	15,52	25	0			
A13	13,3	14,3	9,3	13,0	13,95	14,82	55,9	13,7	0		
Demanda año 1995 (miles de Ton/año)	84,4	47,8	42,2	47,8	28,1	50,6	300,9				

$$\text{Precio Promedio } (A_{32}) = \frac{3214.6}{300.9} = 10.68 \text{ \$/Kg}$$

Paso 5: Finalmente se comparan los precios promedio resultantes de las tres matrices y se elige la alternativa con el menor costo final a los usuarios: A_{22} , seleccionando como lugar de emplazamiento de la nueva unidad de producción a la zona 2.

Requisitos de maquinaria y operarios

Utilización	Para determinar el número de máquinas y operadores necesarios para satisfacer la producción planeada en un período determinado.
Teoría	Modelos determinísticos y probabilísticos de requisito de maquinaria.
Bibliografía	REED, R. <i>Localización, layout y mantenimiento de planta</i> . 3a. edición. Buenos Aires: El Ateneo, 1979, p. 59.
Modelo práctico	En una fábrica se está evaluando la factibilidad de realizar trabajos de estampado profundo para terceros, adquiriendo prensas mecánicas de triple efecto de 1,000 ton. de fuerza.

La observación de trabajos realizados con este tipo de prensa sirvieron de base para el cálculo de los tiempos estándar y porcentajes de piezas defectuosas para los cuatro artículos que se producirían y cuya demanda anual estimada se muestra en la siguiente tabla:

Artículo	Demanda anual (u/año)	Tstd de estampada (HM/u)	% de defectuosas
a	220 000	0.01250	0.2
b	140 000	0.02187	0.1
c	230 000	0.01125	0.2
d	370 000	0.00813	0.5

Se quiere determinar por su alto costo el número mínimo de prensas necesarias para satisfacer la demanda laborando 305 días/año, 3 turnos/día, 7.5 horas/turno ($H_d = 6862.5$ horas/año).

Respecto de la eficiencia esperada se puede confiar en las estadísticas internas de la fábrica en lo referente al rendimiento medio operario $A = 90\%$.

Respecto del factor de uso de la maquinaria C se sabe por información de otros usuarios que adoptando una determinada política para el mantenimiento de la prensa se pueden reducir las horas destinadas al mismo.

La política consiste en el reemplazo de cuatro módulos de la prensa en un tiempo total de 6 horas, toda vez que se produzca la falla de alguno de ellos (reemplazo del averiado y de los tres restantes en forma preventiva). El catálogo del fabricante indica que el tiempo de servicio de un módulo se ajusta a una distribución normal con media 800 horas y desvío estándar 300 horas.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Si se cuenta con información perfecta se recurre al modelo determinístico para el cálculo del requisito de maquinaria.

$$N = \frac{\sum T_j \times P_j}{H_d \times A \times C} \quad (1)$$

donde	N	=	Número de máquinas necesarias
	T_j	=	Tiempo estándar de manufactura de la operación j
	P_j	=	Producción del período
	H_d	=	Horas disponibles
	C	=	Factor de uso de la máquina
	A	=	Rendimiento medio de los operarios

La producción comprende tanto las unidades aprobadas por control de calidad, como las rechazadas por defectuosas por lo que:

$$P_j = \frac{D_j}{1 - d_j}$$

donde	D_j	=	Demanda
	d_j	=	Porcentaje de defectuosas en la operación

De (1)

$$H_u = \frac{\sum T_j \times P_j}{N} = H_d \times A \times C$$

donde	H_u	=	Horas de utilización

El factor de uso también está definido por:

$$C = \frac{H_u}{H_u + H_m} = \frac{H_u}{H_d \times A} = 1 - \frac{H_m}{H_d \times A}$$

donde H_m = Horas de producción perdidas por mantenimiento

En cambio cuando los parámetros son de difícil pronóstico, se recurre al modelo probabilístico para calcular la esperanza matemática del requisito de maquinaria, mediante la expresión:

$$E(N) = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\frac{E(N_j)}{Q_j} E(P_j \bar{t}_{s_j}) \right] + \sum_{j=1}^n \left[\frac{H_d}{\Delta H_{tm_i}} E(\bar{t}_{m_i}) \right] + E(m+1) \sum_{j=1}^n (\bar{t}_{s_j} P_j)}{H_d}$$

donde

$E(N_j)$	=	Esperado de número de máquinas para la operación
$E(P_j, t_{s_j})$	=	$t_{s_j} E(P_j)$
t_{s_j}	=	Tiempo medio de preparación de máquina para la operación j.
$E(P_j)$	=	Esperado del número de ciclos de la operación j.
Q_j	=	Tamaño del lote económico de elaboración para j. = $\sqrt{\frac{2K\bar{c}}{bP(1-\bar{c}/\bar{r})}}$
K	=	Costo del "set up" de maquinaria (\$)
$\bar{c}$	=	Demanda diaria (u/día)
b	=	Costo unitario (\$/u)
P	=	Tasa de posesión (i/día)
$\bar{r}$	=	Ritmo de elaboración (u/día)
H_d	=	Horas disponibles
ΔH_{tm_i}	=	Tiempo que transcurre entre las operaciones individuales de mantenimiento "i" según programa
$E(\bar{t}_{m_i})$	=	Tiempo medio esperado por operación de mantenimiento individual
m_i	=	Pendiente de la ecuación: $H_m = K + mH_u$
$E(\bar{t}_{s_j} P_j)$	=	$t_{s_j} E(P_j)$
$\bar{t}_{s_j}$	=	$\frac{Tstd_j}{A}$ = tiempo real medio por ciclo de operación j

Paso 2: En este caso, salvo el valor del factor de uso de la prensa, que es de difícil pronóstico, se cuenta con información perfecta. De acuerdo con los datos de que se disponen, la fórmula apropiada para determinar el esperado de C es:

$$E(C) = 1 - \frac{E(H_m)}{H_d \times A}$$

El valor esperado de H_m será determinado por el método de simulación de Montecarlo. Implica la sustitución de los datos de la distribución real de un colectivo por una función teórica, y la extracción de datos de ésta mediante una tabla de números al azar.

Como condición previa se exige conocer la función teórica, que se denomina *función de densidad* $f(x)$. En este caso es una distribución normal con media $\mu = 800$ y desviación estándar = 300:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{s} \right)^2}$$

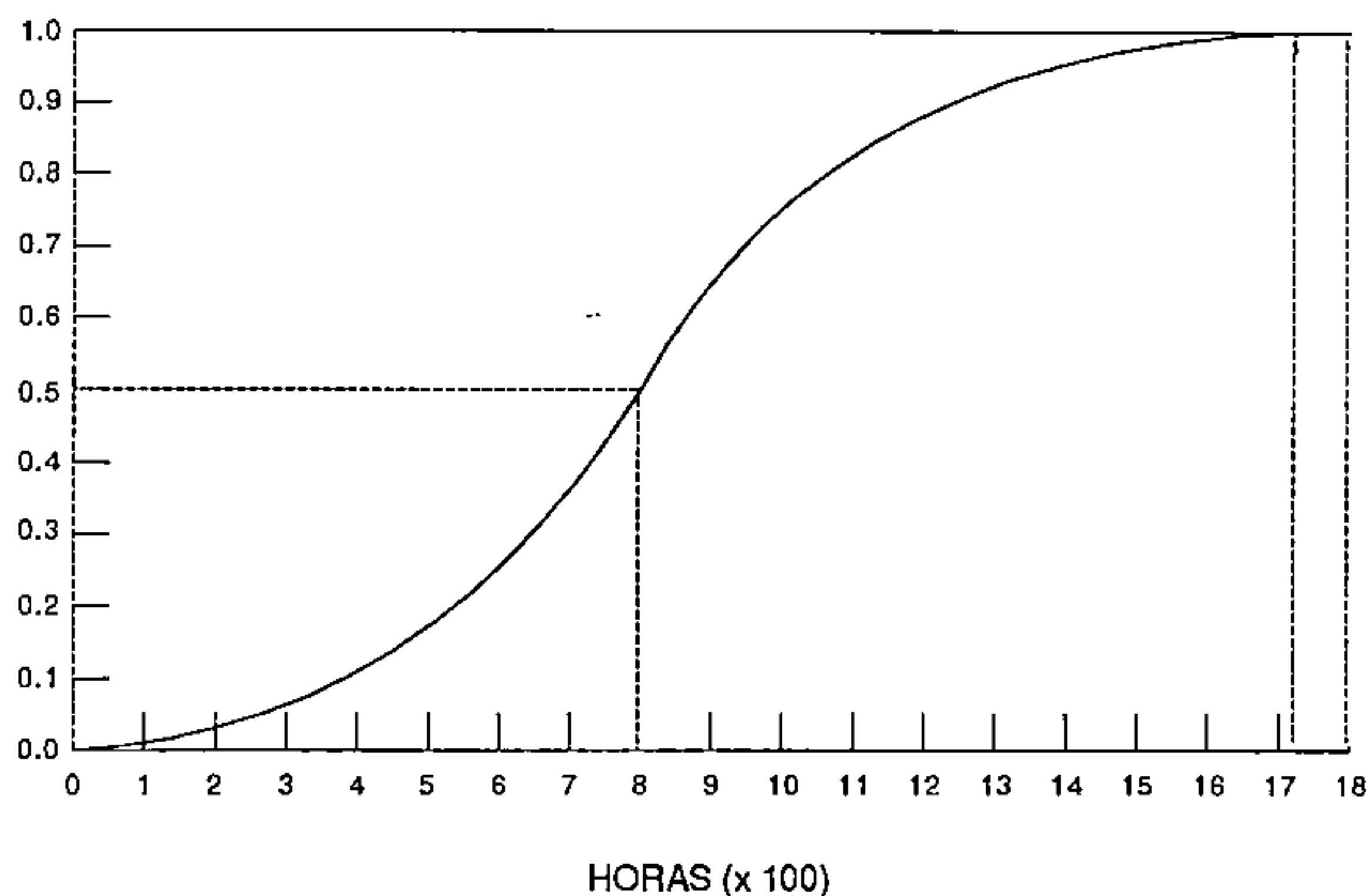
Luego se grafica la función de distribución: $Y = F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) d(x)$ a partir de la tabla siguiente:

Valores de Z y de F(Z) de una distribución normal con
Media $\mu=800$ horas y desviación *standard* $s=300$ horas

Horas	Z*	F(Z)
0	-2.67	0.0038
50	-2.50	0.0062
100	-2.33	0.0099
150	-2.17	0.0150
200	-2.00	0.0228
250	-1.83	0.0336
300	-1.67	0.0475
350	-1.50	0.0668
400	-1.33	0.0918
450	-1.17	0.1210
500	-1.00	0.1583
550	-0.83	0.2033
600	-0.67	0.2514
650	-0.50	0.3085
700	-0.33	0.3707
750	-0.17	0.4325
800	0.00	0.5000
850	0.17	0.5675
900	0.33	0.6293
950	0.50	0.6915
1000	0.67	0.7486
1050	0.83	0.7967
1100	1.00	0.8413
1150	1.17	0.8790
1200	1.33	0.9082
1250	1.50	0.9332
1300	1.67	0.9525
1350	1.83	0.9664
1400	2.00	0.9772
1450	2.17	0.9859
1500	2.33	0.9901
1550	2.50	0.9938
1600	2.67	0.9962
1650	2.83	0.9977
1700	3.00	0.9987
1727	3.09	1.0000

$$* \quad Z = \frac{X_j - \mu}{s}$$

Función de distribución normal
 $(\mu = 800 \text{ horas}, S = 300 \text{ horas})$



El procedimiento es el siguiente:

- Elegir un número aleatorio para cada módulo. Tomar el menor y anotar su valor en la coordenada de la función de distribución.
- Proyectarlo horizontalmente hasta la curva $Y = f(X)$.
- Trazar una vertical desde el punto de intersección de la curva hasta la abscisa X , obteniéndose las horas que estuvo funcionando la prensa hasta averiarse.
- Repitiendo el procedimiento se simula una serie de fallas.

Efectuada la simulación de 5 fallas, resulta:

Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Min. val.	Horas	Horas. acum.
0,31	0,89	0,28	0,23	0,23	581	581
0,07	0,69	0,90	0,94	0,07	353	934
0,38	0,75	0,22	0,25	0,22	572	1506
0,65	0,24	0,15	0,05	0,05	305	1811
0,45	0,81	0,63	0,03	0,03	239	2050

El número de observaciones necesarias es determinable por la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p) N z^2}{E^2 N + p(1-p) z^2}$$

- donde
- p = Probabilidad de estar la prensa detenida por mantenimiento
 - N = Número de fallas que se producirán en el horizonte de vida de la prensa (10 años = 68625 hr)
 - Z = Número de desvíos estandar que corresponde en la curva de la distribución normal al nivel de confianza requerido
 - E = Límite de error aceptable

Definido un nivel de confianza del 95% resulta $Z = 1.96$, según las tablas de probabilidades de la distribución normal.

Aceptando un límite de error $E = 5\%$, la serie de fallas a simular se calcula:

$$p = \frac{5f \times 6\text{Hrs} / f}{2050\text{Hrs}} = 0.015 \quad q = 1 - p = 0.985$$

$$N = \frac{5f}{2050\text{Hrs}} 68625\text{Hrs} = 167\text{ fallas}$$

$$n = \frac{0.015 \times 0.985 \times 167 \times 1.96^2}{0.05^2 \times 167 + 0.015 \times 0.985 \times 1.96^2} = 20\text{ fallas}$$

Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Min. val.	Horas	Horas. acum.
0,31	0,89	0,28	0,23	0,23	581	581
0,07	0,69	0,90	0,94	0,07	353	934
0,38	0,75	0,22	0,25	0,22	572	1506
0,65	0,24	0,15	0,05	0,05	305	1811
0,45	0,81	0,63	0,03	0,03	239	2050
0,37	0,32	0,41	0,43	0,32	656	2706
0,53	0,36	0,22	0,97	0,22	566	3272
0,51	0,16	0,43	0,20	0,16	503	3775
0,78	0,02	0,43	0,52	0,02	167	3942
0,37	0,57	0,74	0,76	0,37	701	4643
0,60	0,01	0,66	0,90	0,01	56	4699
0,22	0,17	0,59	0,20	0,17	509	5208
0,35	0,19	0,13	0,53	0,13	461	5669
0,44	0,52	0,41	0,13	0,13	464	6133
0,20	0,49	0,59	0,45	0,20	548	6681
0,06	0,04	0,10	0,29	0,04	272	6953
0,34	0,15	0,88	0,67	0,15	488	7441
0,36	0,96	0,43	0,47	0,36	695	8136
0,80	0,88	0,44	0,15	0,15	485	8621
0,23	0,38	0,23	0,24	0,23	578	9199

Luego, el número de fallas por año es:

$$\frac{20 \text{ fallas}}{9199 \text{ Hrs.}} 6862.5 \text{ Hrs/año} = 15 \text{ fallas/año}$$

Como el reemplazo de los módulos toma un tiempo de 6 horas, el esperado de las horas de mantenimiento al año es:

$$E(H_m) = 6 \text{ horas/falla} \times 15 \text{ fallas/año} = 90 \text{ horas/año}$$

Por lo tanto el factor de uso esperado es:

$$E(C) = 1 - \frac{90 \text{ Horas/año}}{6862.5 \text{ Horas/año} \times 0.9} = 0.985 = 98.5\%$$

Paso 3: El número de prensas necesarias será:

$$N = \frac{\frac{220000 \frac{u}{\text{año}}}{\left(1 \frac{0.2}{100}\right)} \times 0.01250 \frac{H1}{u} + \frac{140000 \frac{u}{\text{año}}}{\left(1 \frac{0.1}{100}\right)} \times 0.02187 \frac{HM}{u} + \frac{230000 \frac{u}{\text{año}}}{\left(1 \frac{0.2}{100}\right)} \times 0.01125 \frac{HM}{u} + \frac{370000 \frac{u}{\text{año}}}{\left(1 \frac{0.5}{100}\right)} \times 0.00813 \frac{HM}{u}}{0.9 \times 0.985 \times 6860 (H/\text{año})} = 2$$

Otro sistema experto en simulación de la distribución normal que puede aplicarse es el método de generación de Box-Müller. Según este método:

$$z = (-2 \ln r_1)^{\frac{1}{2}} \cos 2\pi r_2$$

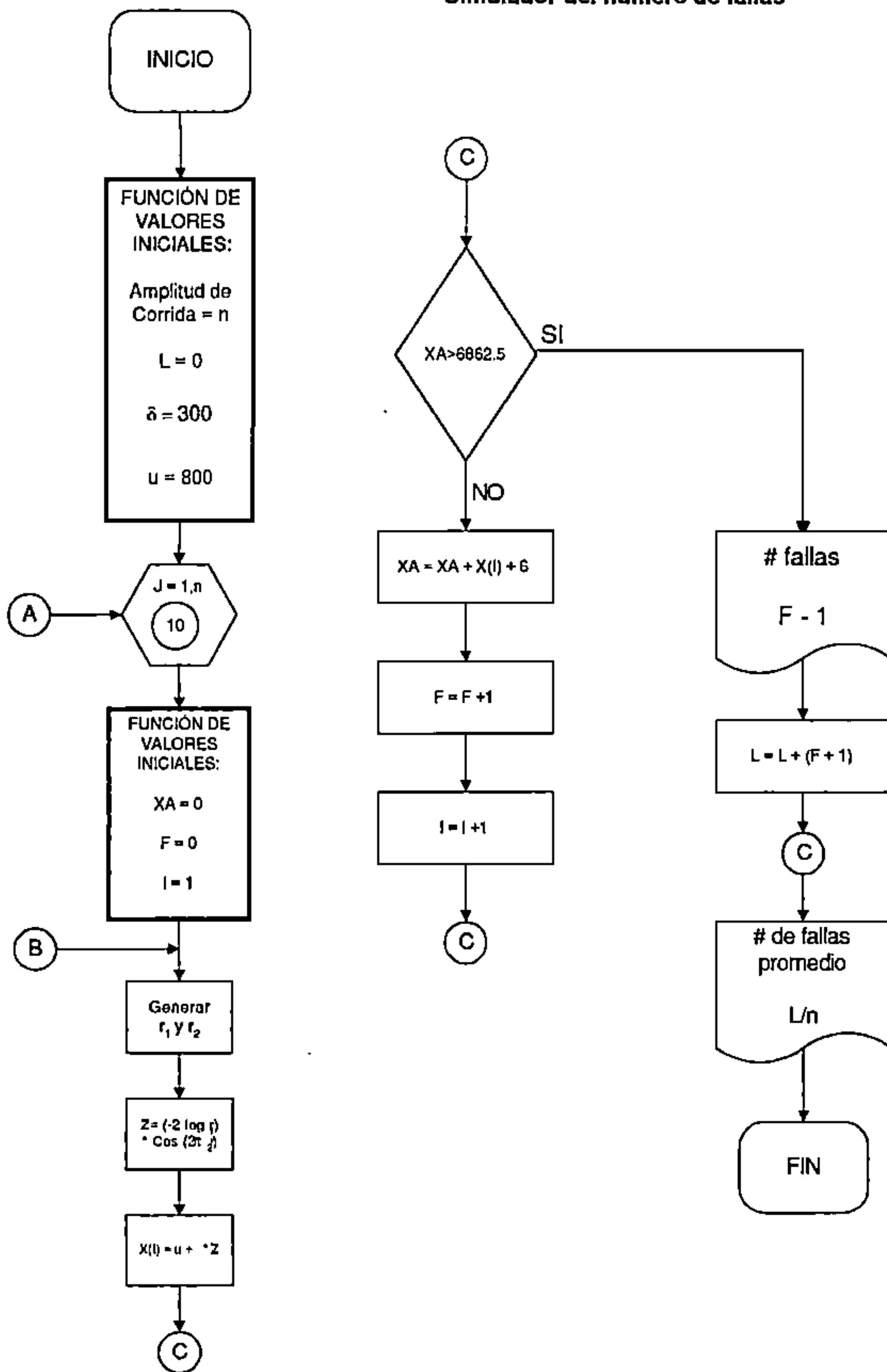
donde: $z = \frac{x - \mu}{s}$

r_1 y r_2 = Números random

$$x = \mu + s \times z$$

Con este método es posible simular el número de fallas mediante un programa utilizando el diagrama de flujo siguiente:

Simulador del número de fallas



- Nota: L = Número de fallas acumuladas durante la simulación
 v, δ = Media y desviación estándar de la distribución normal, respectivamente
 XA = Acumulado del tiempo de servicio y de reemplazo en el período
 $X(I)$ = Tiempo de servicio simulado según la distribución normal
 r_1, r_2 = Números random
 F = Contador del número de fallas observadas en un período.

OTRAS APLICACIONES

Para determinar los requisitos de personal.

Para satisfacer el programa anual de producción de un proyecto se requieren:

Maquinarias	HM/año	Relación hombres/máquinas
Tipo A	20 000	2/1
Tipo B	134 000	1/5
Tipo C	2 000	1/1

Se sabe que:

1. Las horas disponibles son $H_d = 2287.5$ hrs./turno.año.
2. El personal tendrá derecho a un mes de vacaciones anuales y es común un ausentismo del 5%.
3. La relación obreros indirectos/obrerros directos, denominando indirectos a los obreros ocupados en labores de almacenaje y transporte de materiales, conservación de instalaciones y equipo, guardianía y mensajería, es en empresas bien organizadas para este tipo de actividad industrial 30%.
4. La relación empleados/obrerros totales, en idéntica forma 40%.
5. La relación directivos y profesionales/personal total, en igual tipo de empresas 6%.

Se requiere indicar la cantidad total de personal que se preverá para la distribución racional de funciones y el diseño de la organización operativa, determinando:

La planilla mensual, personal administrativo superior.

La planilla mensual, personal empleado.

La planilla diaria, operarios u obreros directos.

La planilla diaria, obreros indirectos.

Requisitos de maquinaria de reserva (*stand-by*)

Utilización	Cuando las HM necesarias para satisfacer la demanda en una determinada operación de un proceso de producción, requiere de un número importante de máquinas, la eficiencia esperada exigirá la adquisición de un número adicional de máquinas de reserva, calculable por método probabilístico que puede ser menor al obtenible por el método determinístico.
Teoría	Teoría de colas y distribución de Poisson.
Bibliografía	HOPEMAN, R. <i>Administración de producción y operaciones. Planeación, análisis y control</i> . México: Continental, 1986, p. 621.
Modelo práctico	Un proyecto prevé el requerimiento de telares para satisfacer una demanda de 480 HM/día, laborando las 24 horas posibles con una eficiencia esperada del 90%.

Mediante el método determinístico:

$$N_{\text{telares}} = \frac{\sum Q_i^1 \times T_{\text{std.}}}{\varepsilon \times H_d} = \frac{480 \text{ HM/día}}{0.9 \times 24 \text{ H/día}} = 22.22 \cong 23$$

Es decir 20 máquinas operando y 3 de reserva (por efectos de ε).

Mediante el método probabilístico el requisito de máquinas de reserva puede ser precisado mejor, siendo necesario considerar para ello adicionalmente el lucro cesante que provoca su carencia y el costo de mantener una máquina *stand-by*.

En este proyecto, siendo la producción de dril de 10.4 m/HM y la utilidad de 2 \$/m, el lucro cesante resulta de 500 \$/día.maq y el costo diario de mantener un telar *stand-by* considerando depreciación y costo de capital de 20 \$/día.maq.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Sabiendo que la distribución de Poisson es la que más se ajusta estadísticamente a la descompostura de máquinas:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

donde: $e = 2.7183$

$\lambda =$ Número promedio de máquinas descompuestas

$\lambda = (1 - 0.9) \frac{480 \text{ HM}}{24 \text{ H}} = 2$ donde 0.9 es la eficiencia

$x =$ Número de máquinas descompuestas

$P(x) =$ Probabilidad de ocurrencia

Se calcula para 0 máquinas *stand-by* la probabilidad de ocurrencia y el costo de pérdida de producción.

Número de máquinas <i>stand-by</i> 0					
Nro. máquinas	Probabilidad fuera de servicio	Costo de Mq de reserva	Pérdidas en producción	Pérdidas esperadas	Total costos esperados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)x(4)	(6)=(3)+(5)
0	0,135	0	0	0	0
1	0,271	0	500	135.5	135.5
2	0,271	0	1000	271	271
3	0.180	0	1500	270	270
4	0.090	0	2000	180	180
5	0.036	0	2500	90	90
6	0.012	0	3000	36	36
7	0.003	0	3500	10.5	10.5
8	0.001	0	4000	4	4
9 a 20	0.000				
					997 \$/día

Paso 2: Se calcula para una máquina *stand-by*, el costo de pérdida de producción + máquina en espera.

Número de máquinas <i>stand-by</i> 1					
Nro. máquinas	Probabilidad fuera de servicio	Costo de Mq de reserva	Pérdidas en producción	Pérdidas esperadas	Total costos esperados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)x(4)	(6)=(3)+(5)
0	0,135	20	0	0	20
1	0,271	20	0	0	20
2	0,271	20	500	135.5	155.5
3	0.180	20	1000	180	200
4	0.090	20	1500	135	55
5	0.036	20	2000	72	92
6	0.012	20	2500	30	50
7	0.003	20	3000	9	29
8	0.001	20	3500	3.5	23.5
9 a 20	0.000				
					745 \$/día

Paso 3: Se calcula para dos máquinas *stand-by*, el costo de pérdidas de producción + máquina en espera.

Número de máquinas <i>stand-by</i> 2					
Nro. máquinas	Probabilidad fuera de servicio	Costo de Mq de reserva	Pérdidas en producción	Pérdidas esperadas	Total costos esperados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)x(4)	(6)=(3)+(5)
0	0,135	40	0	0	40
1	0,271	40	0	0	40
2	0,271	40	0	0	40
3	0.180	40	500	90	130
4	0.090	40	1000	90	130
5	0.036	40	1500	54	94
6	0.012	40	2000	24	64
7	0.003	40	2500	7.5	47.5
8	0.001	40	3000	3	43
9 a 20	0.000				
					628.5 \$/día

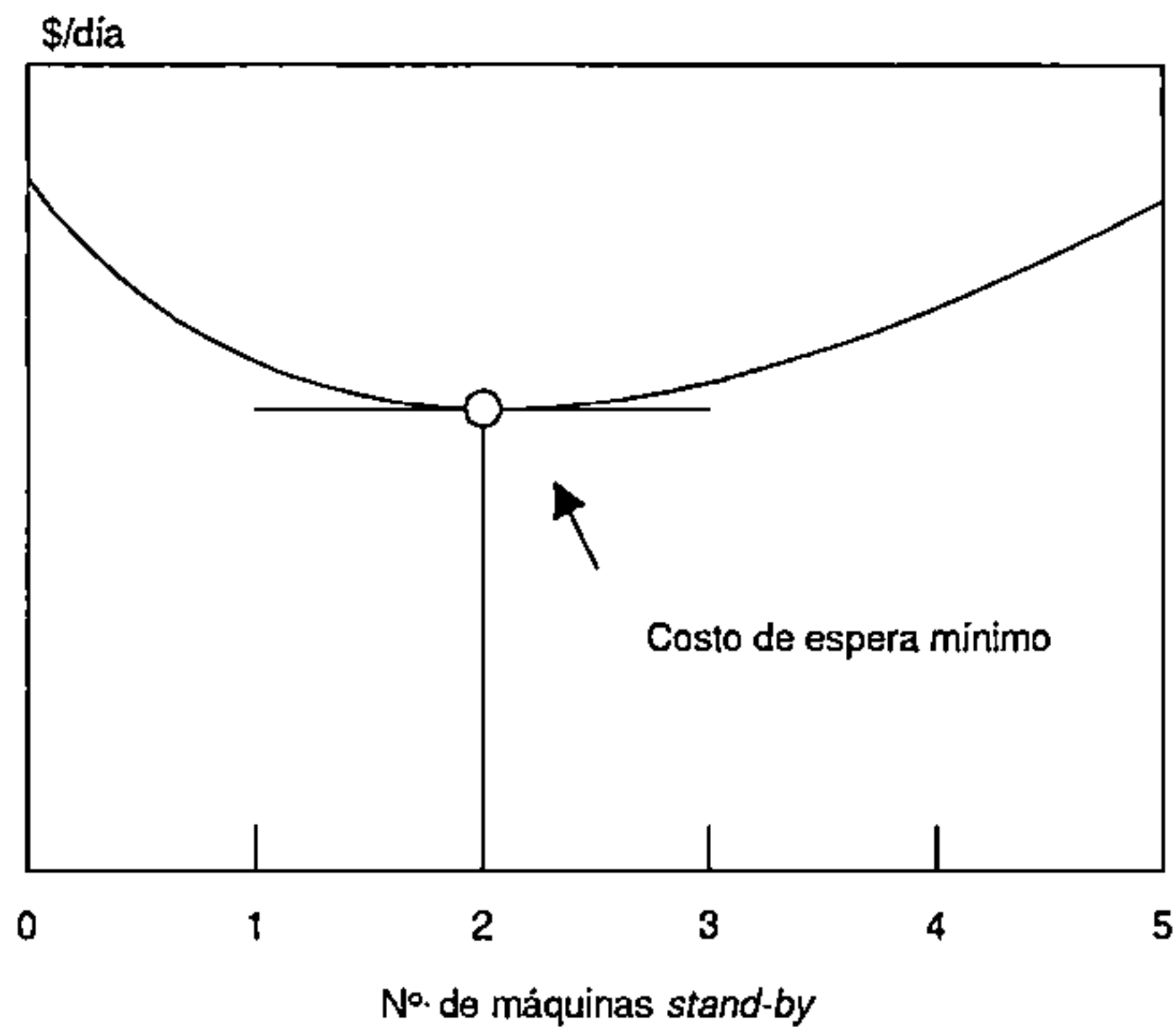
Paso 4: Se calcula para tres máquinas *stand-by*, el costo de pérdida de producción + máquina en espera.

Número de máquinas <i>stand-by</i> 3					
Nro. máquinas	Probabilidad fuera de servicio	Costo de Mq de reserva	Pérdidas en producción	Pérdidas esperadas	Total costos esperados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)x(4)	(6)=(3)+(5)
0	0,135	60	0	0	60
1	0,271	60	0	0	60
2	0,271	60	0	0	60
3	0,180	60	0	0	60
4	0,090	60	500	45	105
5	0,036	60	1000	36	96
6	0,012	60	1500	18	78
7	0,003	60	2000	6	66
8	0,001	60	2500	2.5	62.5
9 a 20	0,000				
					647.5 \$/día

Si se continúa resulta:

Nro. de máquinas <i>stand-by</i>	Costo diario de pérdidas de producción y máquina en espera (\$/días)
0	997
1	745
2	628.5
3	647.5
4	766.5
5	910.5

Si observa que el costo diario se hace mínimo para dos máquinas de reserva:



Por lo tanto se justifican $20 + 2 = 22$ telares para satisfacer una demanda de 480 HM/día laborando 24 horas diarias.

Elaboración por terceros vs. propia y elección de la maquinaria más apropiada

Utilización Frecuentemente se afronta el problema de decidir si para la elaboración de una pieza es conveniente recurrir a terceros o efectuarla en los talleres propios, y en este último caso, para la hoja de ruta, escoger la maquinaria más apropiada entre diferentes alternativas.

Para estas decisiones se utilizan los diagramas de equilibrio.

Teoría Teoría de decisiones.

Bibliografía MUNIER, N. *Técnicas modernas para el planeamiento y control de producción*. Buenos Aires: Astrea, 1973, p. 59.

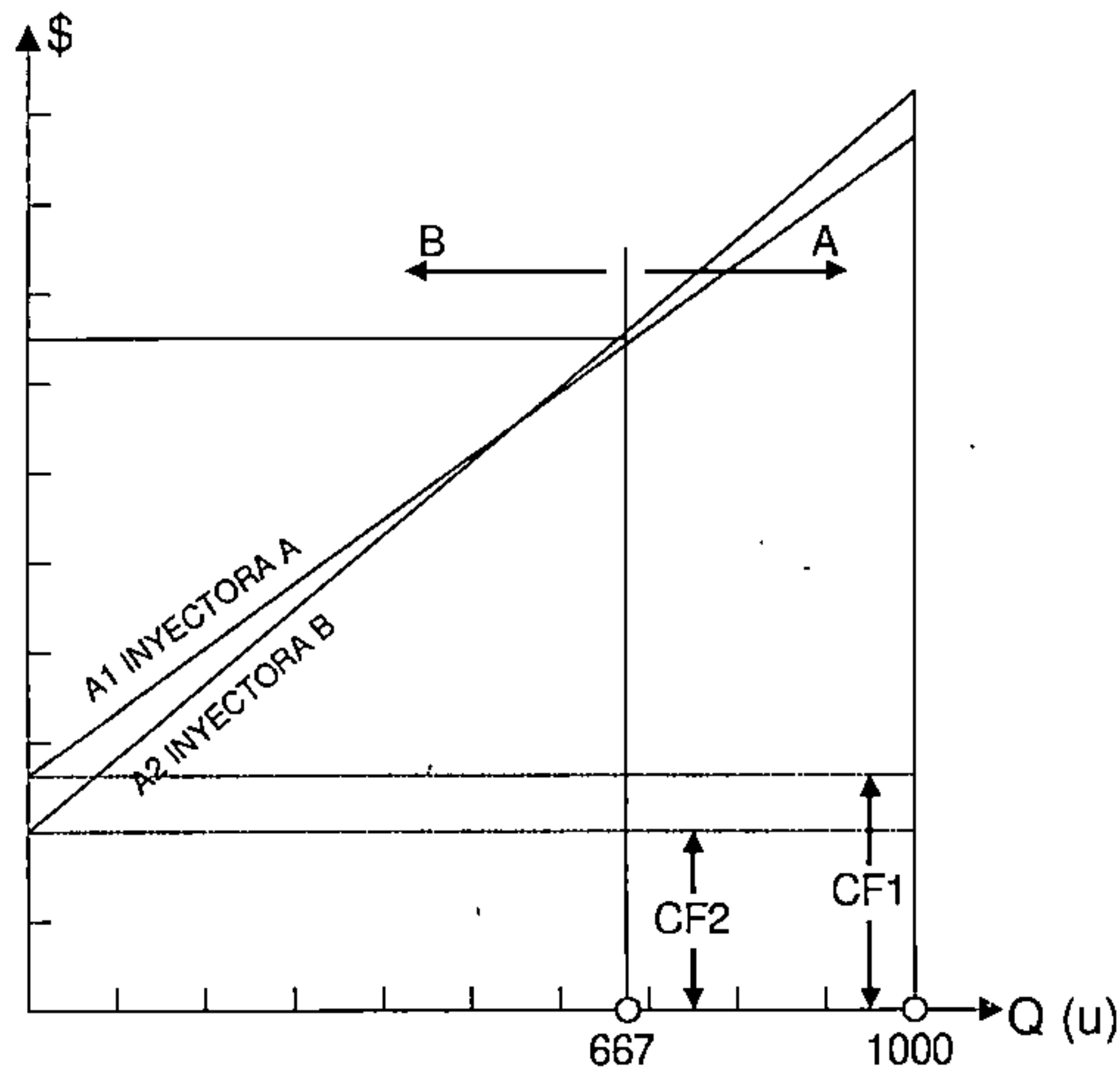
Modelo práctico Para la elaboración de 1,000 unidades de una pieza de polipropileno de alta densidad se enfrenta la disyuntiva de:

- A1 Elaborarla en la prensa inyectora A con costo variable unitario de 3.00 \$/u y costos fijos de 1,000 \$.
- A2 Elaborarla en la prensa inyectora B con costo variable unitario de 3.30 \$/u y costos fijos de 800 \$.
- A3 Facilitar el molde a una fundición solicitando su servicio de inyección, adquiriéndole las 1,000 unidades por 3,500 \$.

¿Qué decisión se debe adoptar?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se grafican superpuestos los diagramas de equilibrio de las alternativas A1 y A2.



Para menos de 667 unidades es ventajosa la inyectora B. Para el lote de 1,000 unidades se escoge la A1: inyectora A.

Paso 2: Se compara el precio (p) con el costo variable (w) del trabajo en la inyectora A, por cuanto los costos fijos subsistirían aun en el caso de asignar el trabajo a terceros.

Si $p < w$ el trabajo se asigna a terceros

Si $p > w$ el trabajo se realiza en planta $3.50 \$/u > 3.00 \$/u$

Consecuentemente las 1,000 unidades serán producidas en planta con la inyectora A (A1).

Disposición de máquinas, método de los eslabones

Utilización

En la formulación de un proyecto, completados los estudios de mercado, tamaño, localización, ingeniería de productos y procesos, el diseño de planta se efectúa mediante el método SLP (Systematic Layout Planning), realizándose para ello, en una primera etapa la *Disposición general*, que no es otra cosa que el ordenamiento de las superficies necesarias, habida cuenta de la organización operativa. Este ordenamiento se realiza generalmente mediante los cuadros y diagramas relacionales de actividades.

Para el cálculo de las superficies necesarias el *Método de P.F. Guerchet* es de interés.

La *Disposición detallada* es el resultado final, ella requiere de igual manera el ordenamiento, en cada zona de actividad, de máquinas, muebles y equipo, así como, de depósitos, accesos y pasillos.

El *Método de los eslabones*, complementado con el uso de la unidad *Mag* para la medición de la magnitud desplazada en cada movimiento resulta muy eficaz tanto en los problemas de disposición como de modificación de la disposición de máquinas.

Teoría

Distribución en planta (Plant Layout).

Bibliografía

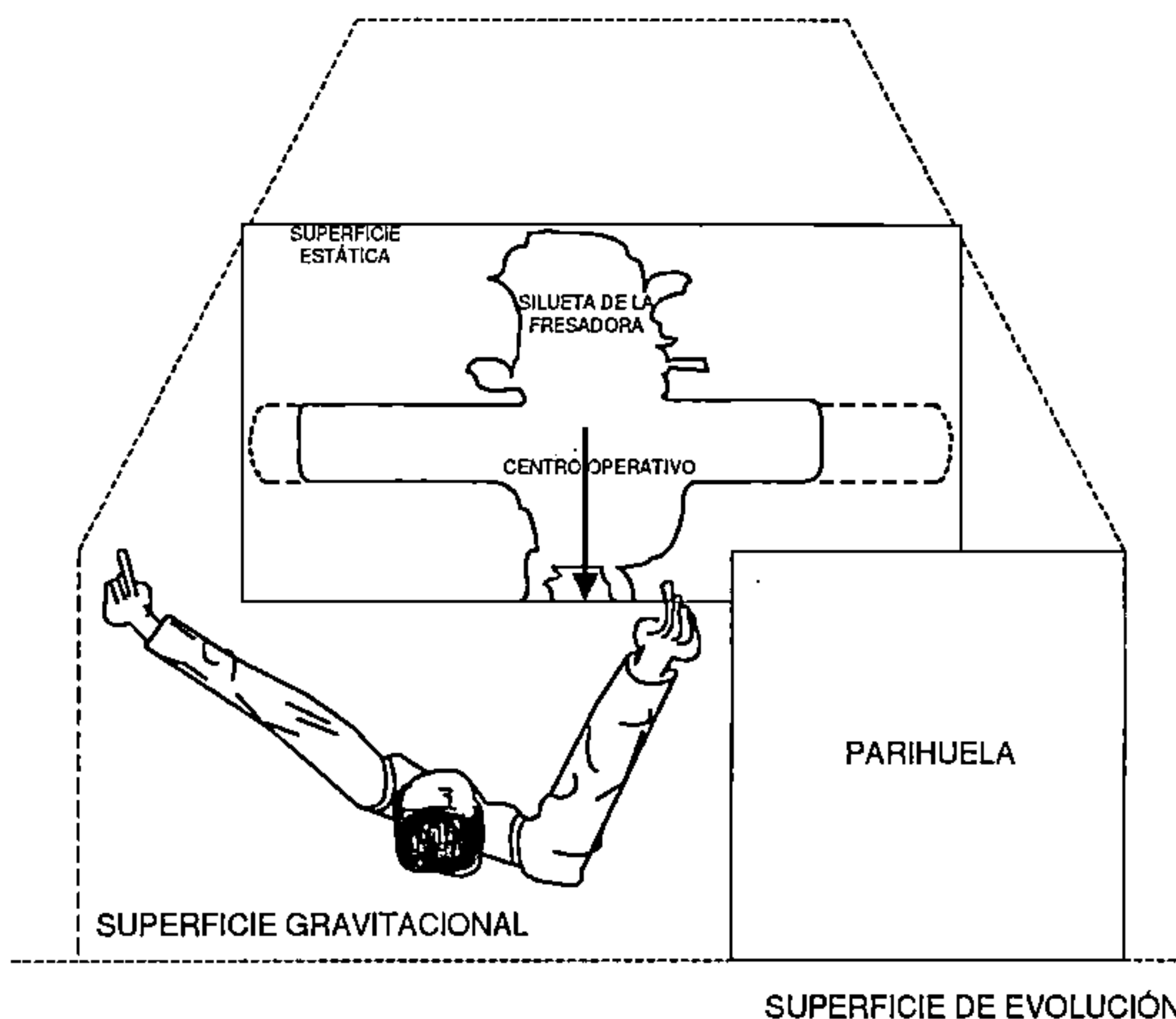
MICHEL, P. *Distribución de planta*. Bilbao: Deusto, 1968, p. 23.

MUTHER, R. *Planificación y proyección de la empresa industrial, Método SLP. Systematic Layout Planning*. Barcelona: Eta, 1968, p. 99.

Modelo práctico

El cálculo de las superficies necesarias para las distintas áreas de actividad en un proyecto de matricería fue efectuado mediante el *Método de P.F. Guerchet*.

En la figura se observa una *plantilla máquina + área de trabajo*, donde la silueta de la máquina ha sido inscrita dentro de un rectángulo trazado mediante paralelas y perpendiculares al *centro operativo* (▼) que se denomina S_s = *Superficie estática*.



El área de operación y servicio de la máquina se denomina S_g = *Superficie gravitacional*. Se considera a efectos de cálculo como $S_g = N \cdot S_s \leq 4 S_s$, donde N = *Número de lados* de atención y servicio utilizados. Para estanterías y depósitos $N = 0$.

El área reservada al transporte de materiales y desplazamiento del personal se denomina *Superficie de evolución* $S_e = k \sum (S_s + S_g)$, donde k depende del tipo de actividad (desde 5% para ambientes donde el movimiento de materiales a procesar, en proceso y procesados se efectúa mediante puentes-grúas y cadenas transportadoras aéreas, hasta 300% para talleres donde se procesan y producen materiales y productos voluminosos).

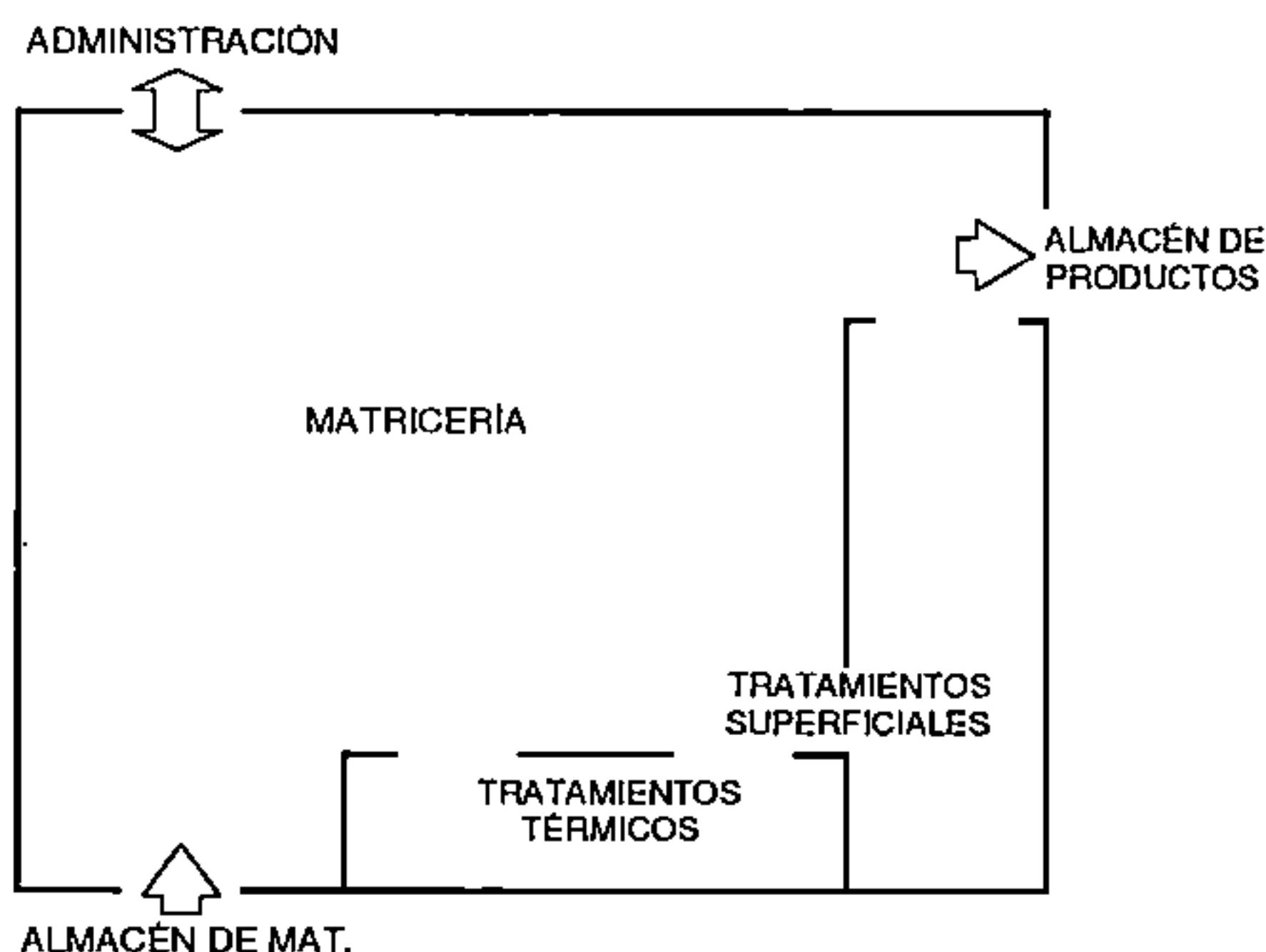
En particular para la sección matricería el cálculo fue el siguiente:

ÁREAS	1 x a (m x m)	Cantidad	Ss (m ²)	N	Sg (m ²)
01. Acepilladora A	2.00 x 2.20	1	4.40	1	4.40
02. Bancos de ajustaje B,C y D	1.80 x 1.00	3	5.40	1	5.40
03. Depósito de aceros para tratamientos térmicos	2.80 x 2.80	1	7.84	0	0
04. Depósito de aceros tratados	4.40 x 4.40	1	19.36	0	0
05. Depósito de productos tratados	4.50 x 4.50	1	20.25	0	0
06. Fresadoras E y F	2.00 x 2.00	2	8.00	2	16.00
07. Limadora G	2.00 x 2.00	1	4.00	3	12.00
08. Pantógrafo G	2.00 x 2.20	1	4.40	1	4.40
09. Rectificadoras K y L	2.00 x 2.00	2	8.00	2	126.00
10. Sierra vaivén M	2.00 x 1.80	1	3.60	3	10.80
11. Taladros de banco N y O	1.80 x 1.00	2	3.60	1	3.60
12. Taladro universal P	2.00 x 2.00	1	4.00	3	12.00
13. Torno copiador Q	2.20 x 2.00	1	4.40	3	13.20
14. Tornos paralelos R y S	3.20 x 0.80	2	5.12	1	5.12

$$\Sigma S_a = 102.37 \text{ m}^2 \quad \Sigma S_g = 102.92 \text{ m}^2$$

Para una matricería la superficie de evolución es generalmente de 90%, consecuentemente $S = (1+k) (\Sigma S_s + \Sigma S_g) = 1.9 (102.37 + 102.92) \approx 390 \text{ m}^2$.

La disposición general en escala 1:300 resultó la siguiente:

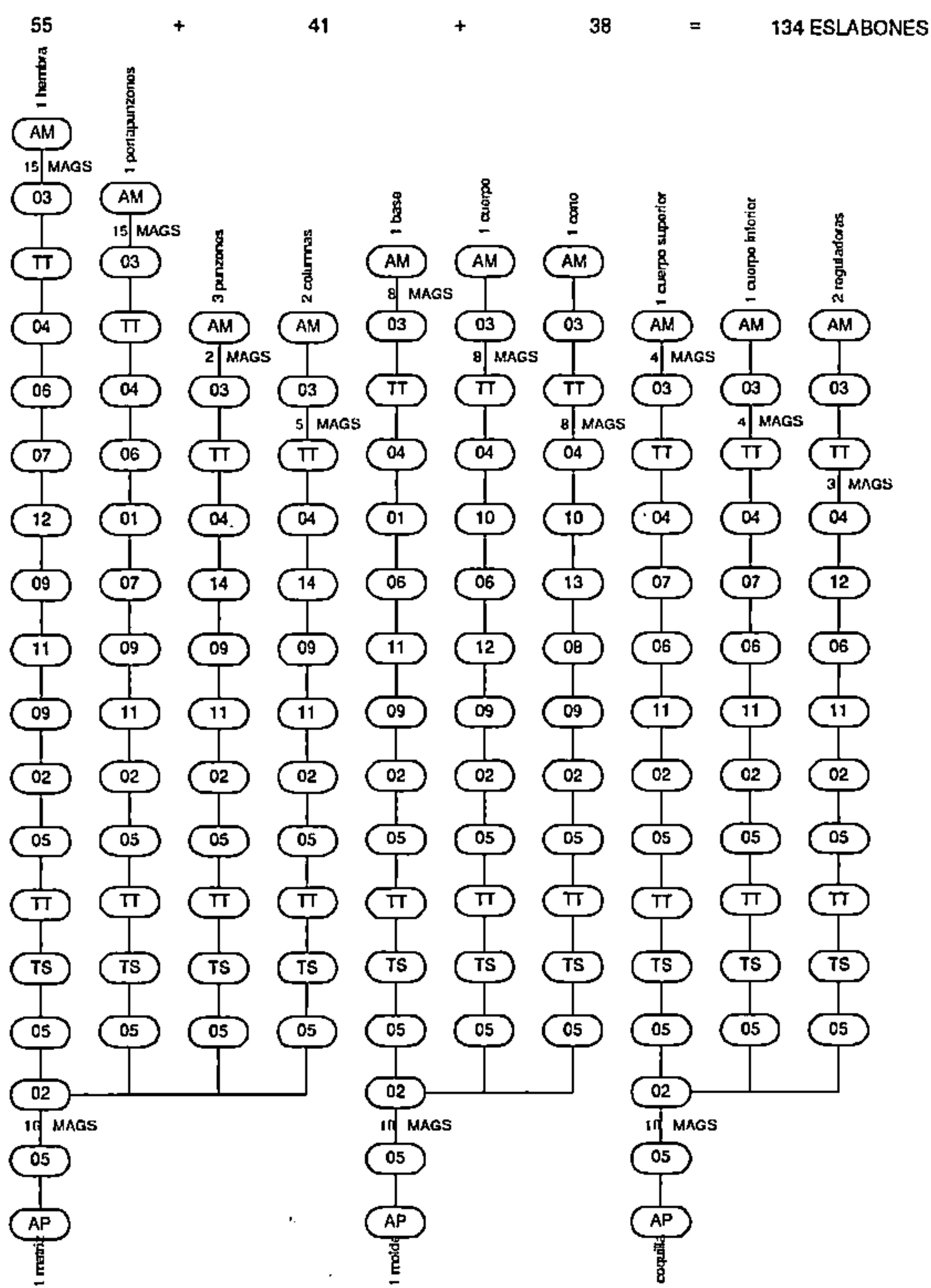


Se solicita diseñar la disposición de detalle de la matricería.

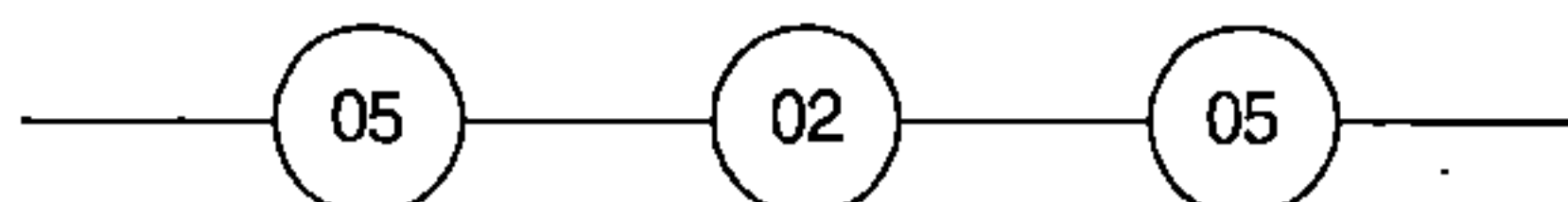
ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Consiste en la definición del "mix" típico de producción. Se consideró representativo del trabajo diario la producción de una matriz de corte, un molde para soplado y una coquilla para fundición, con un *manpower* de 60 hrs./hombre, para un conjunto de nueve operarios calificados.

Paso 2: Consiste en la confección de las hojas de ruta de los tres productos.



Paso 3: Consiste en la confección del *Cuadro de los eslabones*. Un *eslabón* indica un movimiento entre dos estaciones de trabajo. En el grafo representativo de las hojas de ruta los movimientos.



implican sin considerar el sentido, eslabones 0205.

Se calcula el número de Mags/viaje y el número de viajes/día que ocurrirán entre las estaciones.

El *Mag*, magnitud de desplazamiento, es básicamente una unidad de volumen, corregida en función de la densidad, forma, posibilidad de deterioro, estado y valor del bien transportado, creada al considerar se que no es lo mismo transportar 1 m³ de algodón, 1 m³ de plomo, 1 m³ de bolas de acero, 1 m³ de copas de cristal, 1 m³ de cobre en estado de fusión o 1 m³ de joyas.

1 *Mag* corresponde a un cubo de madera de 5.5 cm de lado (10 pulg³) y el número de mags desplazados en un viaje:

$$N (\text{Mags/viaje}) = A + 0.25A (B+C+D+E+F) \geq 0.25A$$

El factor base A se calcula mediante la ecuación:

$$A (\text{Mags}) = 0.2857 V^{0.5441}$$

Donde V (pulg³) es el volumen a transportar en un viaje.

Los factores de corrección son:

Factores de corrección

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4

B = Densidad

C = Forma

D = Deterioro

E = Estado

F = Valor

Así para el cubo de acero especial de 688.5 pulg³ desplazado del almacén de materiales (AM) al depósito de aceros para tratamiento térmico (03) para el recocido y posterior maquinado de la hembra de la matriz, el número de Mags a computar para su movimiento en el eslabón 03AM, es:

$10 + 0.25 \times 10 (2 + 0 - 1 + 0 + 1) = 15$ Mags/viaje y siendo la frecuencia 1 viaje/día, se contabilizan 15 Mags/día.

De la misma forma se debe proceder eslabón por eslabón. En el caso se ha considerado que el Nro. de Mags es invariante a lo largo del proceso de elaboración de la hembra, lo que se puede aceptar por tratarse del recocido, maquinado y temple de un cubo de acero, pero en la mayoría de los casos el cálculo debe efectuarse para cada eslabón.

Cuadro de los eslabones

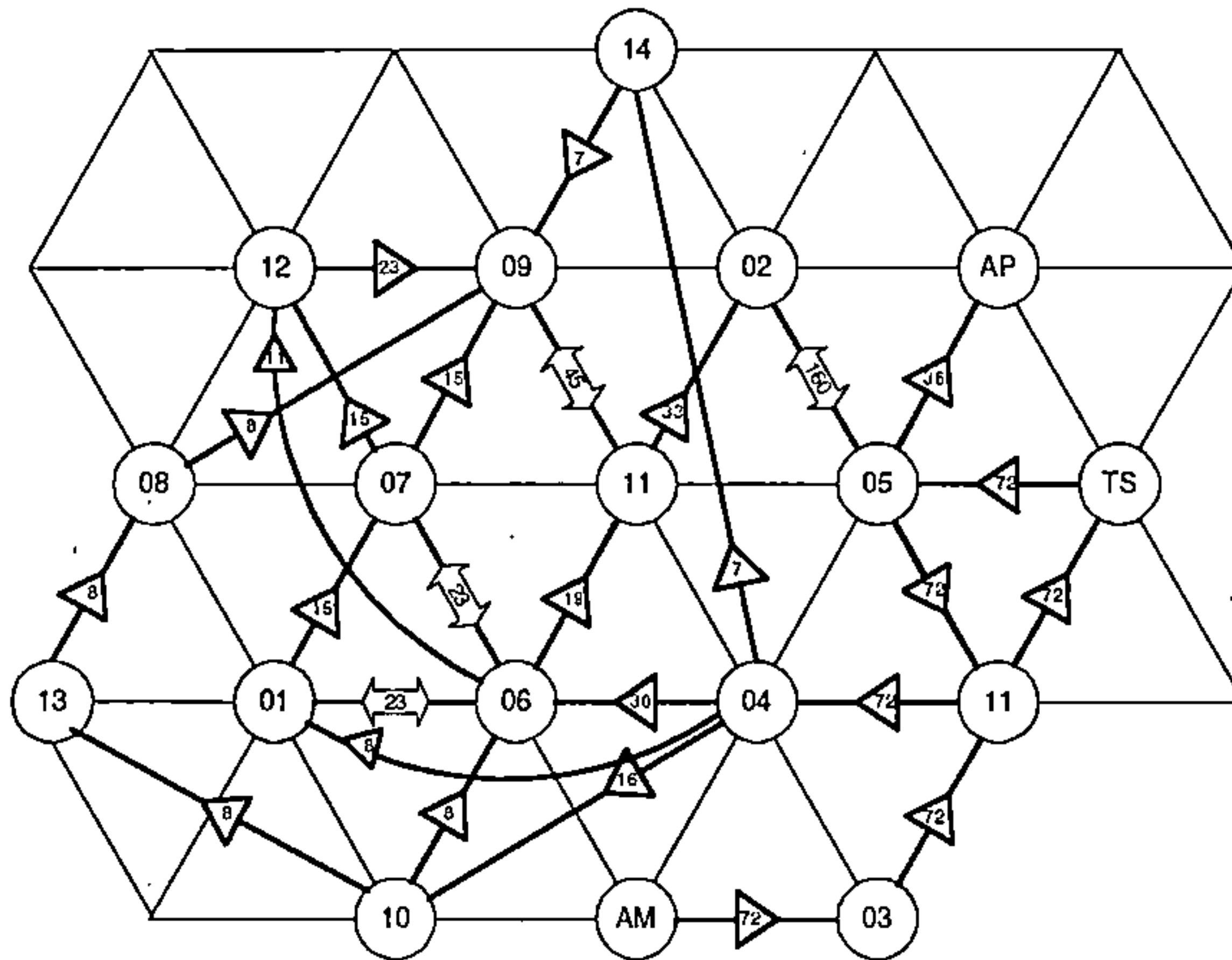
	AP	TS	TT	AM	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01
01												15	23		8			46
02								33		39				180			252	
03			72	72												144		
04			72		7		3		16			8	30		144			
05	36	72	72											360				
06							11	19	8			23	114					
07							15			15		76						
08						8				8	16							
09					7		23	45		137								
10						8			32									
11								97										
12							52											
13						16												
14					14													
AM				72														
TT		72	288															
TS		144																
AP	36																	

1035 Mags/día laborado

Paso 4: Consiste en la esquematización de la disposición sobre un *Diagrama triangular*.

En el mismo se coloca en primer término la estación con el mayor número de Mags (05) y en el exágono que la rodea (habida cuenta de la ubicación de las secciones ligadas con la matricería en la disposición general) las estaciones con mayores movimientos de/o hacia ella (02, TT, TS y AP). En segundo término se procede con TT (288 Mags), de la misma forma. En tercer término con 02 y así sucesivamente.

Mediante un proceso de iteración se llega a lo siguiente:



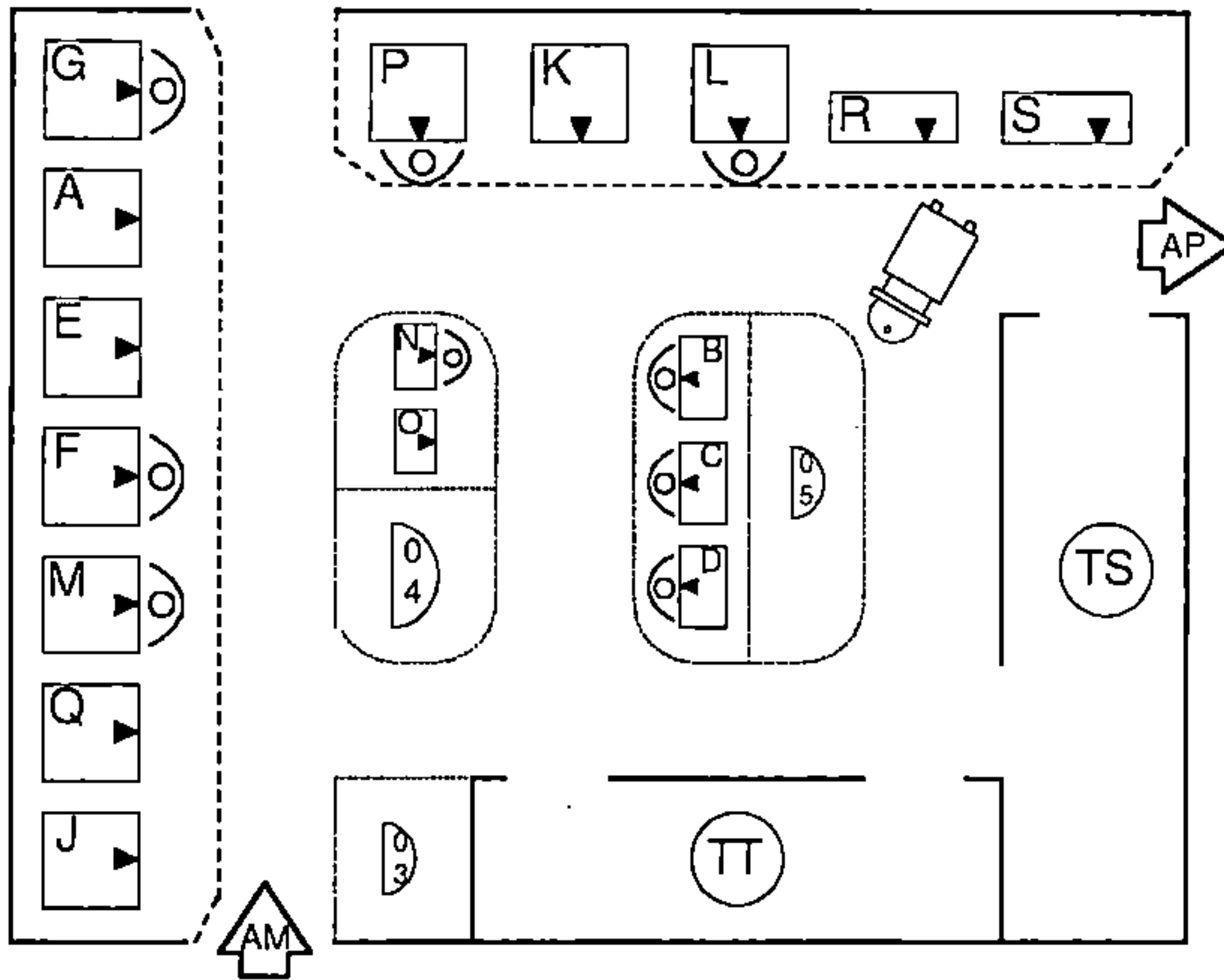
Paso 5: Consiste en el diseño de plantillas "máquina + área de trabajo" generalmente en escala 1:50 (1":4') incluyendo plantillas del equipo de manejo de materiales, de escritorio, estanterías y depósitos.

En el caso, se utilizarán montacargas de 1 ton. a batería, para los cuales el ancho de pasillos recomendado es de 2.10 m. Con estos montacargas se desplazarán los contenedores *racks* entre estaciones.

Paso 6: Consiste en el tendido de las plantillas sobre el plano de la disposición general en igual escala y mediante aproximaciones sucesivas obtener la disposición más asemejable al diagrama triangular.

En esta etapa del SLP es importante el trazado simultáneo de los pasillos de circulación haciendo que los montacargas puedan acceder a todas las estaciones y depósitos.

Paso 7: Consiste en el dibujo final de la *Disposición de detalle*.



Programa de ejecución y cronograma de inversión

Utilización	Los cronogramas de inversión de los proyectos, según el tipo de actividad, son representados por curvas "S" características, con cuyo conocimiento pueden esbozarse rápidamente en estudios preliminares. Por otra parte, sin el análisis del programa de ejecución, con una metodología apropiada para el nivel de preinversión, es casi imposible establecer no sólo un cronograma de desembolsos sino también, la relación deuda/patrimonio.
Teoría	Teoría de redes. Teoría del pronóstico.
Bibliografía	Fuentes de información. Proyectos y proyectistas.
Modelo práctico	Durante el desarrollo del estudio de factibilidad de un proyecto para la fabricación de 2,500 toneladas anuales de alambres, clavos, grapas y mallas metálicas se presenta la necesidad de establecer los cronogramas de ejecución de inversiones.

El paquete tecnológico implica la siguiente inversión:

	Inversión (miles \$)
Activo intangible	260
Activo fijo	1647
- Terrenos y construcciones	830
- Maquinaria, equipo, muebles y enseres	787
Capital de trabajo	223
Total	2130*

* Todas las partidas incluyen un 15% de imprevistos.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se definen las actividades que caracterizan la ejecución de un proyecto con un grado de detalle acorde con el nivel de "estudio de preinversión", estimándose los tiempos normales para su realización, costos y fuentes de financiamiento.

El paquete tecnológico, que se desagrega para efectos de una más eficiente ejecución de los proyectos, se reagrupa a su vez en paquetes financieros. Esto según su fuente o procedencia:

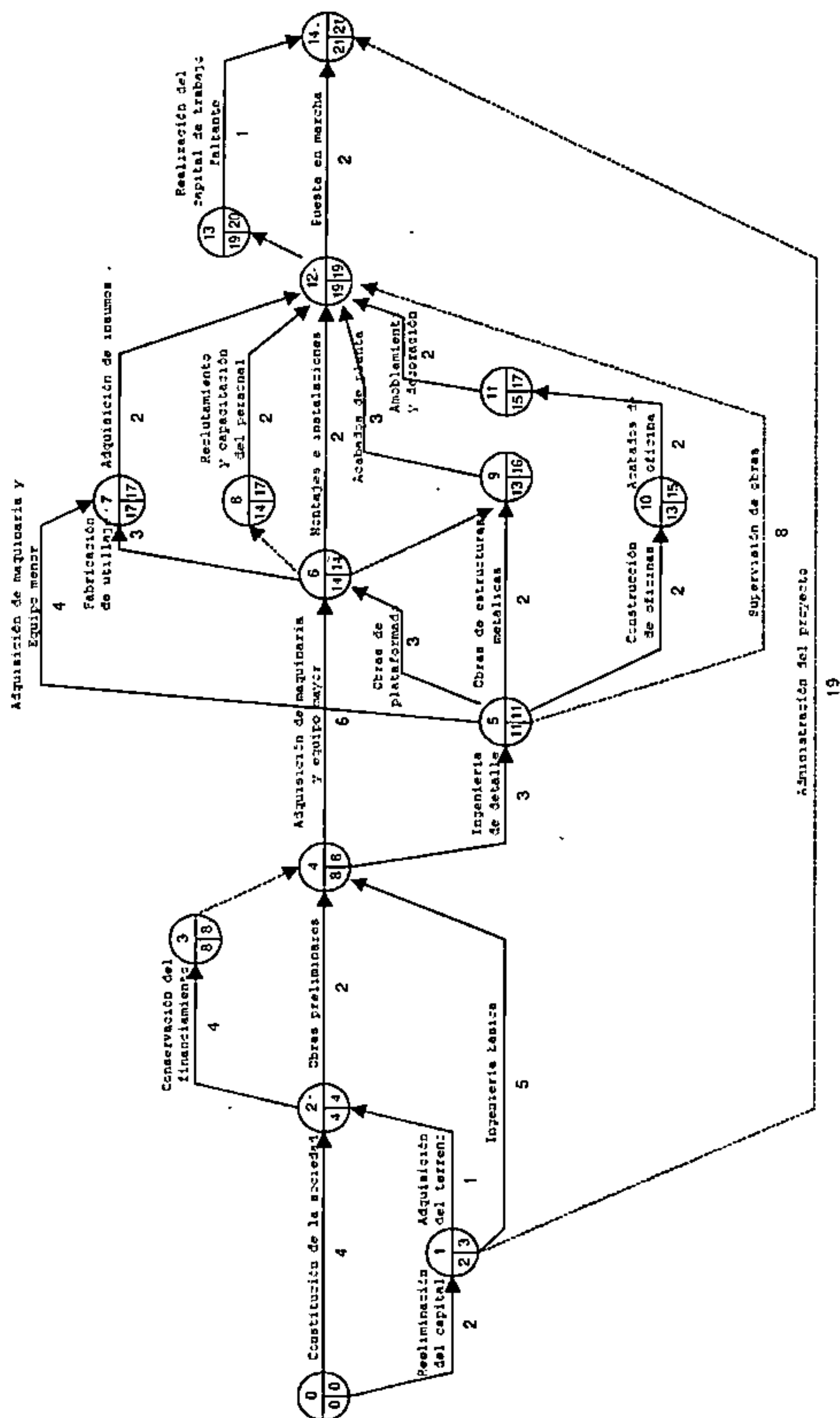
Paquetes	Fuente o procedencia		
	Aportes propios (AP)	C. Financiera de Desarrollo (FD)	Banco Industrial (BI)
Estudios		100%	
Obras civiles	100%		
Maquinaria y equipos	15%		85%
Capital de trabajo			100%
Otros	100%		

Actividades	Tiempo estimado (meses)	Presupuesto de inversión	Fuente de financiamiento (miles de \$)
Realización del capital inicial	2	0	
Constitución de la sociedad	4	2	AP
Adquisición del terreno	1	60	AP
Ingeniería básica	5	59	FD
Administración del proyecto (4 mil \$ mensuales)(*)	19	76	AP
Concertación del financiamiento	4	0	
Obras preliminares	2	30	AP
Ingeniería de detalle	3	46	FD
Adquisición de maquinaria y equipo mayor	6	352	BI+AP
* Obras de plataformado	2	150	AP
Adquisición de maquinaria y equipo menor	4	345	BI+AP
Obras de estructuras metálicas	2	285	AP
Construcción de oficinas	2	50	AP
Supervisión de obras (6 mil \$ mensuales)(*)	6	48	AP
Fabricación de utillaje	3	33	BI+AP
Montajes e instalaciones	2	75	BI+AP
Adquisición insumos	2	73	BI
* Reclutamiento y capacitación de personal	2	11	AP
Acabados de planta	3	165	AP
Acabados de oficina	2	90	AP
Amoblamiento y decoración	2	12	AP
Puesta en marcha	2	18	AP
Realización del capital de trabajo faltante	1	150	BI
		2,130 miles de \$	

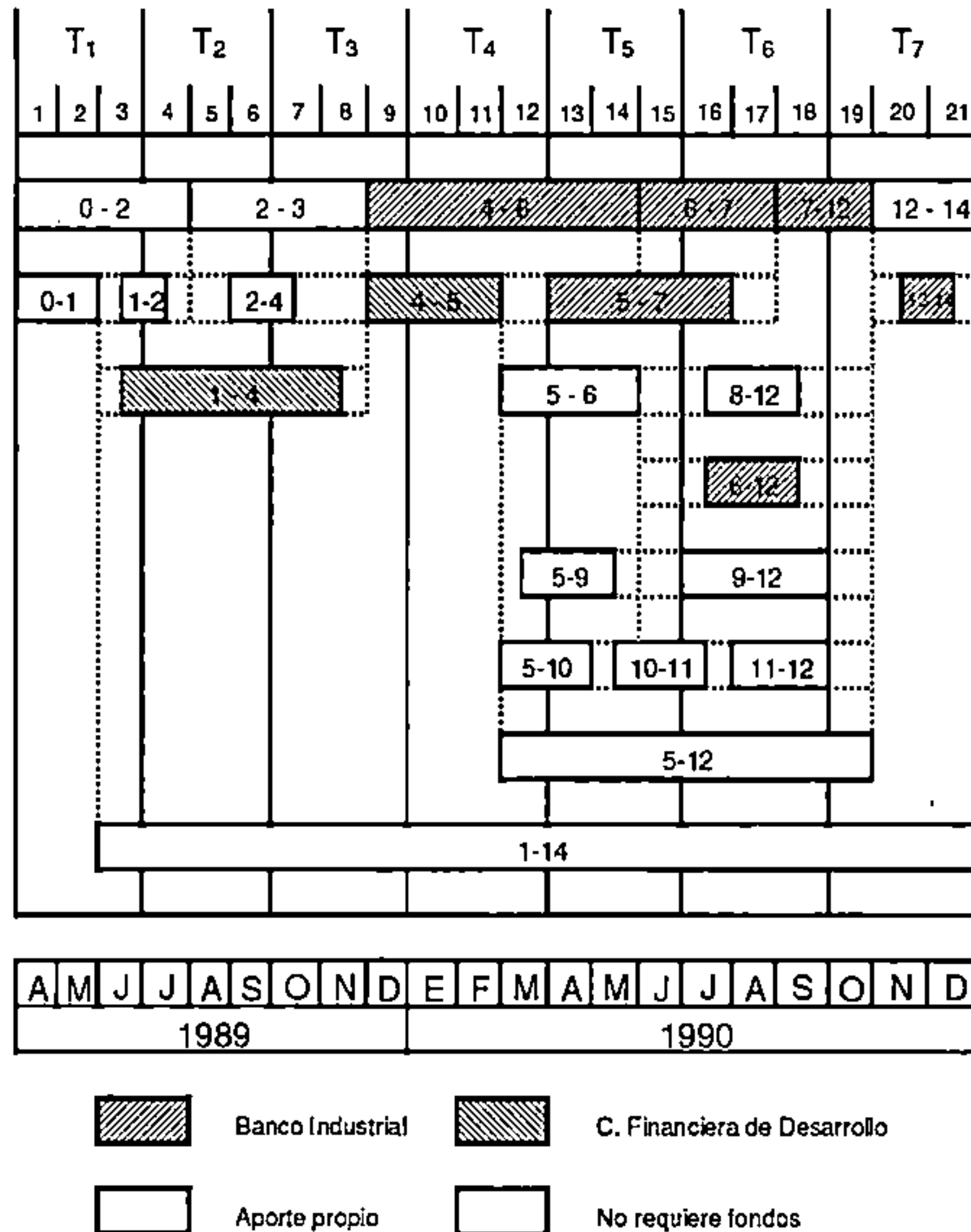
- * Actividades cuya extensión y costo dependió del plazo resultante de ejecución del proyecto (administración del proyecto) y sus obras (supervisión de obras).

Paso 2: Se confecciona el grafo sagital definiendo con él la trayectoria crítica, el plazo de ejecución del proyecto y la extensión y costos de las actividades de administración de proyecto y supervisión de obras.

Esta red es un prototipo de diagrama sagital de todo proyecto industrial.



Paso 3: Se confecciona un cronograma de ejecución del proyecto, mediante el diagrama de Henry Gantt. Considerando la fecha más probable de iniciación de las actividades previstas, se transforma luego el cronograma en un programa pudiendo señalarse una fecha tentativa de entrada en operación. Los desembolsos se hacen en el baricentro de cada actividad y las actividades con holgura se colocan en el baricentro de la holgura evitando de esta manera prever desembolsos antes de lo necesario o que el proyecto se atrase por el retraso de una actividad.



Paso 4: Habiendo sido estimados los tiempos en meses, se divide el cronograma en trimestres convirtiéndolo en el Programa de Ejecución del Proyecto con fecha de iniciación de las actividades previstas abril 89 y fecha de culminación diciembre 90.

Calculados los factores de escalamiento de costos considerando la pérdida del poder adquisitivo de la moneda de referencia (4.9% anual) y el hecho de ser los estimados de febrero de 1989, se confecciona el cronograma de inversiones en moneda constante y corriente (para efectos del financiamiento).

Tomando los baricentros de las actividades previstas se efectúa el cronograma de inversiones por paquetes financieros, determinando montos de aportes y préstamos necesarios trimestralmente.

Factor de escalamiento (Respecto de estimados de mediados Feb. 89)		1.012	1.024	1.036	1.049	1.061	1.074	1.087		
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
Paquete financiero	Actividad	Abril- Jun 89	Julio-Set 89	Octub- Dic 89	Enero- Mar 90	Abril- Jun 90	Julio-Set 90	Octub- Dic 90	Subtotal	Escala- miento
AP	0 - 2	2							2	
	1 - 2	60							60	
	1 - 14	4	12	12	12	12	12	12	76	
	2 - 4		30						30	
	4 - 6				88				88	
	5 - 6					150			150	
	5 - 7					86			86	
	5 - 9					285			285	
	5 - 10				50				50	
	5 - 12				6	18	18	6	48	
	6 - 7						5		5	
	6 - 12						11		11	
	8 - 12						11		11	
	9 - 12						165		165	
	10 - 11					90			90	
	11 - 12						12		12	
	12 - 14							18	18	
Total en moneda constante		66	42	12	156	641	234	36	1187	
Total en moneda corriente		66.8	43	12.4	163.6	680.1	251.3	39.1		69.3
Acumulado		66.8	109.8	122.2	285.8	965.9	1217.2	1256.3		
BI	4 - 6				264				264	
	5 - 7					259			259	
	6 - 7						28		28	
	6 - 12						64		64	
	7 - 12						73		73	
	13 - 14							150	150	
Total en moneda constante					264	259	165	150	838	
Total en moneda corriente					276.9	274.8	177.2	163.7		54.6
Acumulado		0	0	0	276.9	551.7	728.9	892.6		
FD	1 - 4		59						59	
	4 - 5				46				46	
Total en moneda constante			59		46				105	
Total en moneda corriente			60.4		48.3					3.7
Acumulado		0	60.4	60.4	108.7	108.7	108.7	108.7		
GRAN TOTAL (miles de \$)		66.8	170.2	182.8	671.4	1626.3	2054.3	2257.6	2130	127.6

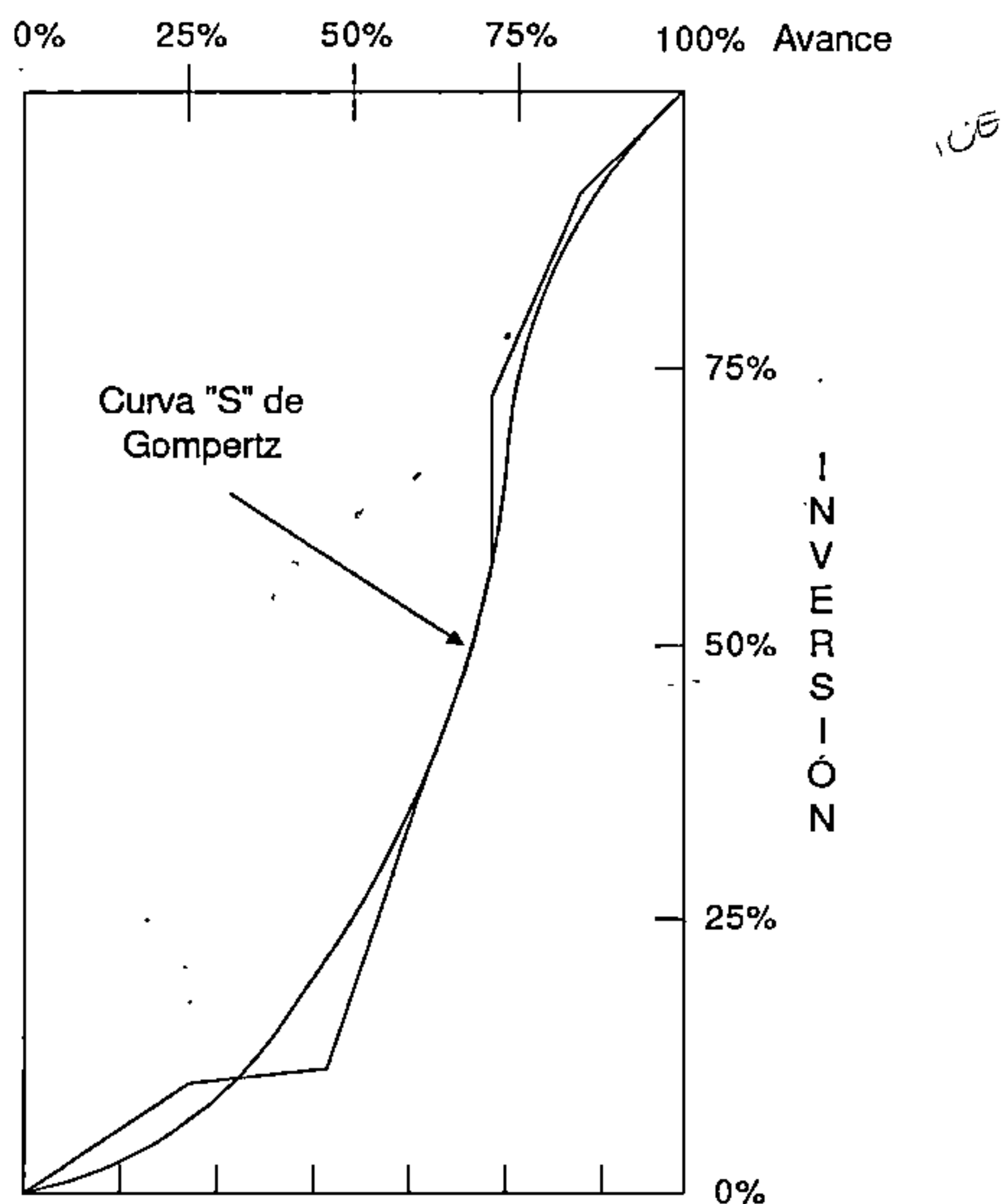
	Miles de \$
Inversión	1,852
Imprevistos (15%)	278
En moneda constante	2,130
Escalamiento (5.6%)	127.6
En moneda corriente	2,257.6

Paso 5: Se prepara el esquema financiero del proyecto, se calcula la relación deuda/patrimonio, y se grafica la curva "S" de la inversión para conformar un banco de datos característico.

Destino de fondos	miles de \$	%	Origen de fondos	miles de \$	%
Activo no corriente	2,016.1	89,3	Aporte patrimonial	1,256.3	55,6
Activo corriente	241,5	10,7	Préstamo Banco Industrial	892,6	39,5
			Préstamo C. Financiera de Desarrollo	108,7	4,9
Activo total	2,257.6	100	Pasivo total	2,257.6	100

$$\text{Relación deuda/patrimonio} = \frac{1}{1.25}$$

La curva "S" de Gompertz permitirá averiguar el avance del proyecto, según la inversión que se haya hecho en un determinado momento, también servirá como un control del tiempo vs. inversión.



Programación de la ejecución de obras por el método de la trayectoria crítica CPM

Utilización

Se dice que existen tres velocidades de avance para la ejecución de proyectos:

Avance normal.- Donde se trata de minimizar costos de inversión y de producción, para lo cual la duración de las actividades es calculada con previsiones para la optimización del diseño, la gestión de compras y la construcción.

Avance acelerado.- Donde se incrementan los costos de inversión de 3% a 8% para reducir el plazo de ejecución del proyecto mediante compromisos de pagos adicionales para actividades críticas, especialmente en la gestión de compras y construcción.

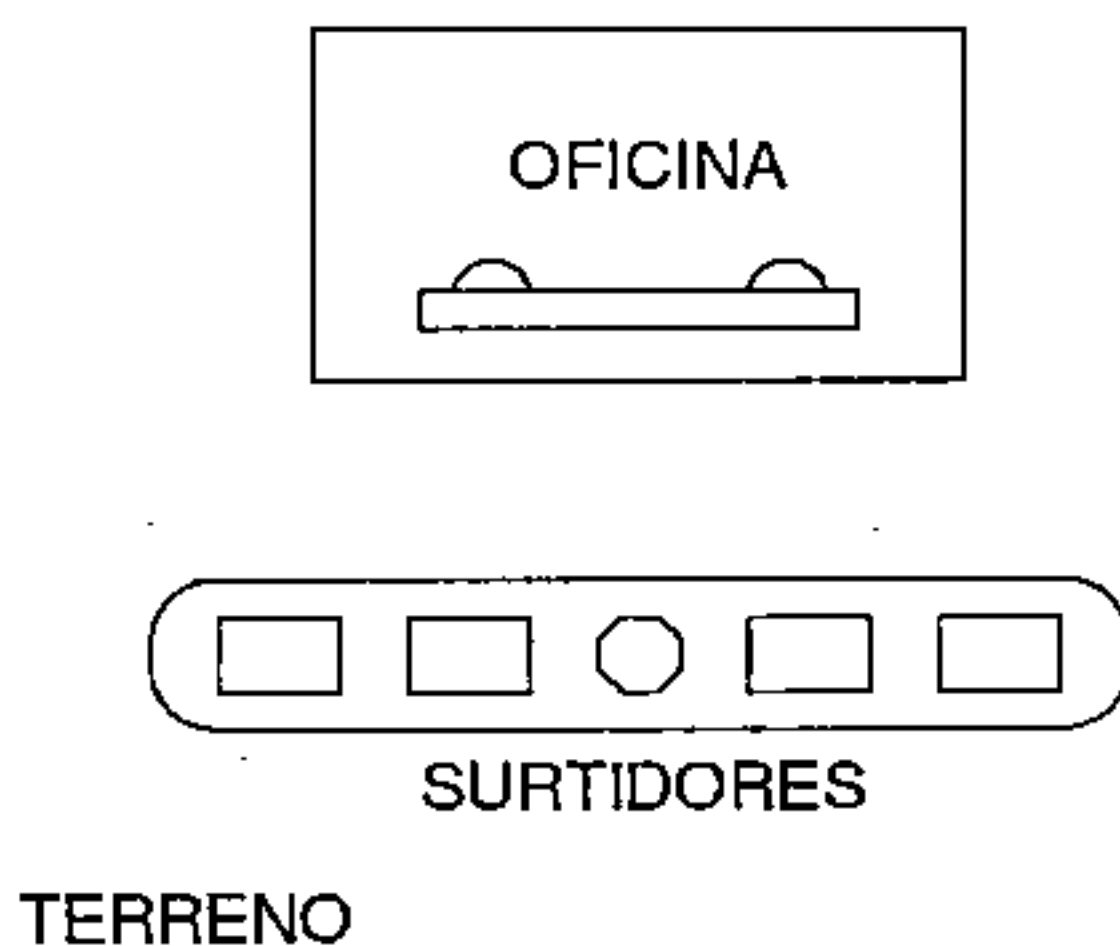
Avance máximo.- Donde cualquier sacrificio es hecho con tal de ganar tiempo. Los estudios de diseño para reducir costos son dejados de lado, la gestión de financiamiento y compra se efectúa más en función del tiempo que del costo. La supervisión de obras deja de lado la mayor parte de las licitaciones. Resultan costos de inversión superiores en un 10% a 20%, pero el plazo de ejecución se reduce drásticamente.

El rango y aceptabilidad de los costos están tan íntimamente asociados a la velocidad de avance como al contenido de la ingeniería y a los objetivos del proyecto mismo. Una propuesta para ejecutar el proyecto de una planta piloto, a la máxima velocidad, puede ser aceptada a pesar de que ello implique un incremento de costos de inversión del 20%. La misma propuesta podrá resultar prohibitiva para la planta de producción a escala industrial.

Cuando el tiempo necesario para la realización de cada una de las actividades puede estimarse con una cierta precisión por la experiencia existente y el conocimiento de los recursos a emplear, se recurre a un método determinístico de planeamiento y programación, el "Critical Path Method" (CPM).

En cambio, cuando existen imponderables y la duración de las actividades puede ser variable —entre tiempos optimistas y pesimistas— con rangos importantes, se recurre a un método probabilístico, el "Program Evaluation & Review Technique" (pert).

Teoría	Teoría de redes.
Bibliografía	BATTERSBY, A. <i>Planificación y programación de proyectos complejos</i> . 2a. edición. Barcelona: Ariel, 1970, 18 pp.
Modelo práctico	En un simple proyecto de construcción de un grifo, la administración debe definir el plazo de ejecución de las obras.



ALGORITMO DE RESOLUCIÓN:

Paso 1: Se realiza en forma ordenada la *definición de actividades necesarias*:

- A Desbroce del terreno
- B Trazado del terreno
- C Excavación de pozo para tanques
- D Excavación para cimientos de oficina
- E Tendido de servicios subterráneos
- F Recubrimiento con un lecho de grava
- G Cimiento de oficina
- H Estructura de concreto para tanques
- I Pared de ladrillos alojamiento de tanques
- J Muros de oficina
- K Colocación de marcos de ventanas y puertas
- L Construcción del sardinel para surtidores
- M Asfaltado del terreno
- N Techado de la oficina
- O Electricidad de la oficina
- P Fontanería de la oficina
- Q Carpintería de la oficina

R	Yesería de la oficina
S	Suministro de tanques y surtidores
T	Montaje y prueba de tanques
U	Instalación de surtidores
V	Prueba general
W	Limpieza final

Paso 2: Sabiendo que algunas actividades pueden realizarse simultáneamente y otras en cambio ser consecutivas, se efectúa el *análisis de precedencias*.

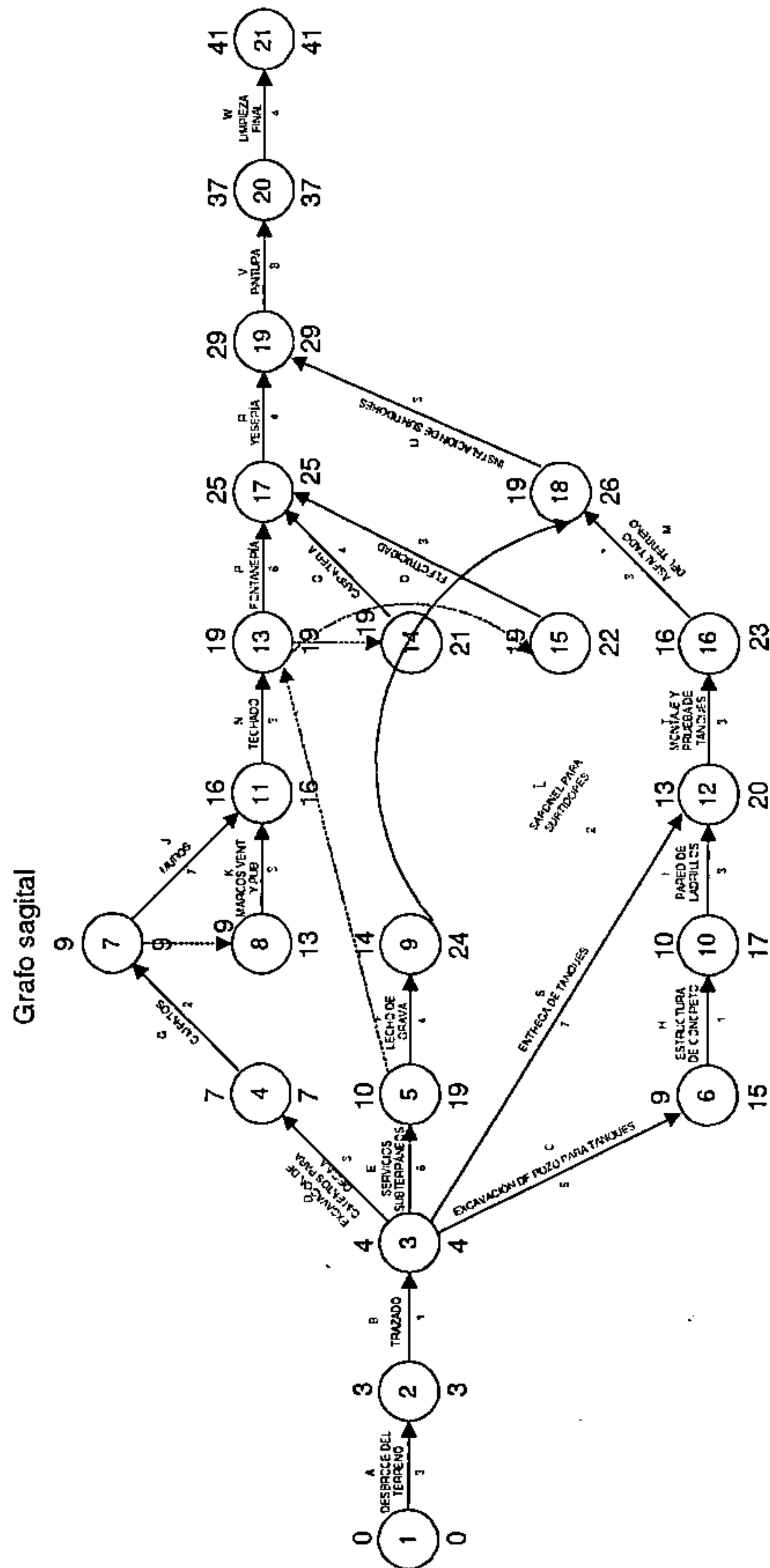
Actividades y precedencias

		A	<	B
A	<	B	<	C, D, E, S
B	<	C	<	H
B	<	D	<	G
B	<	E	<	F, P
E	<	F	<	L
D	<	G	<	J, K
C	<	H	<	I
H	<	I	<	T
G	<	J	<	N
G	<	K	<	N
F	<	L	<	U
T	<	M	<	U
J, K	<	N	<	O, P, Q
E, N	<	O	<	R
E, N	<	P	<	R
E, N	<	Q	<	R
O, P, Q	<	R	<	V
B	<	S	<	T
I, S	<	T	<	M
L, M	<	U	<	V
R, U	<	V	<	W
V	<	W		

Paso 3: Por experiencia de los supervisores de obra, con el conocimiento de los recursos disponibles y por acuerdo con contratistas y proveedores *se definen los tiempos necesarios* para la realización de cada una de las actividades previstas.

Actividad	Tiempo previsto (días laborables)
A	3
B	1
C	5
D	3
E	6
F	4
G	2
H	1
I	3
J	7
K	3
L	2
M	3
N	3
O	3
P	6
Q	4
R	4
S	7
T	3
U	3
V	8
W	4

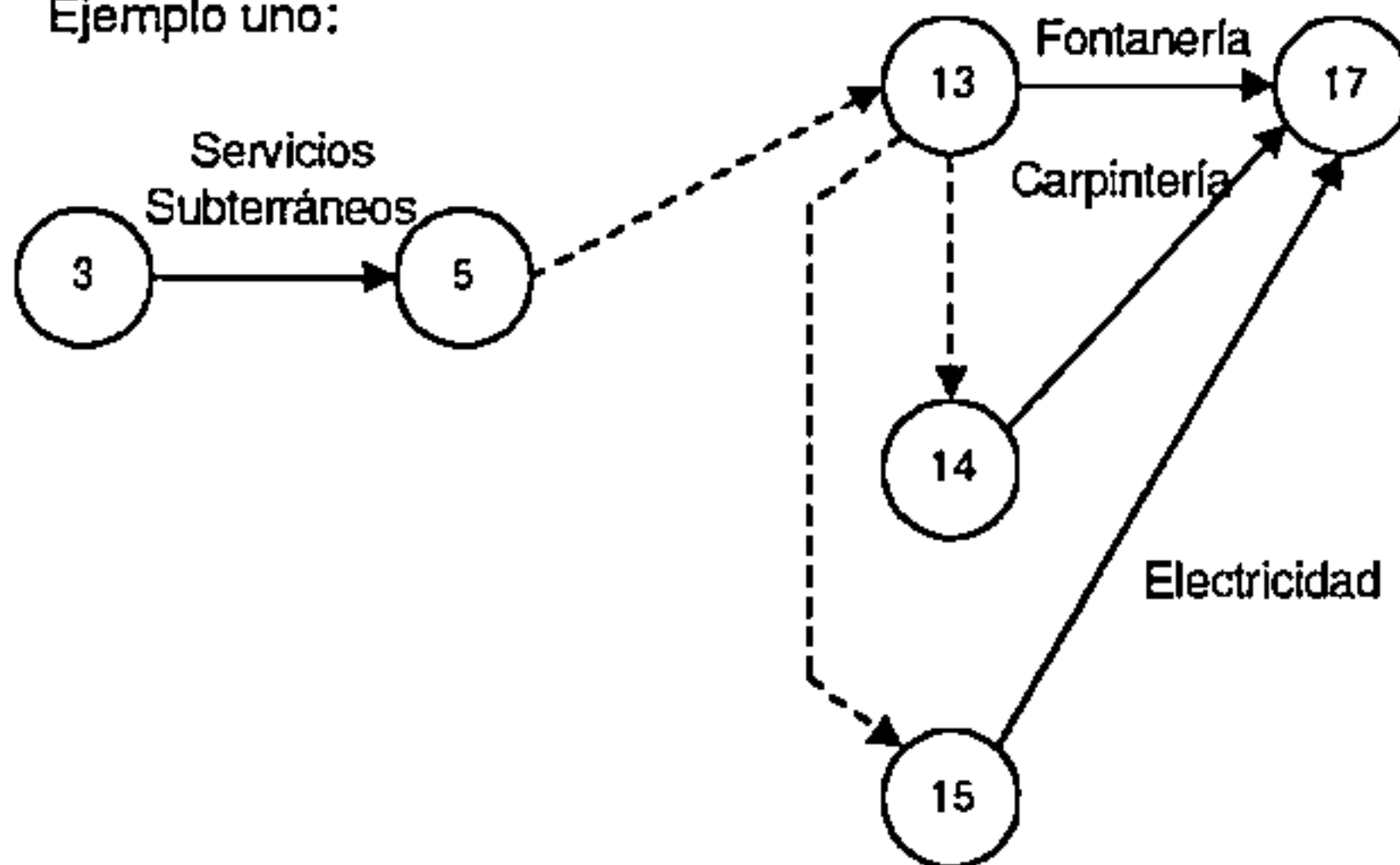
Paso 4: Se confecciona el *grafo sagital*.



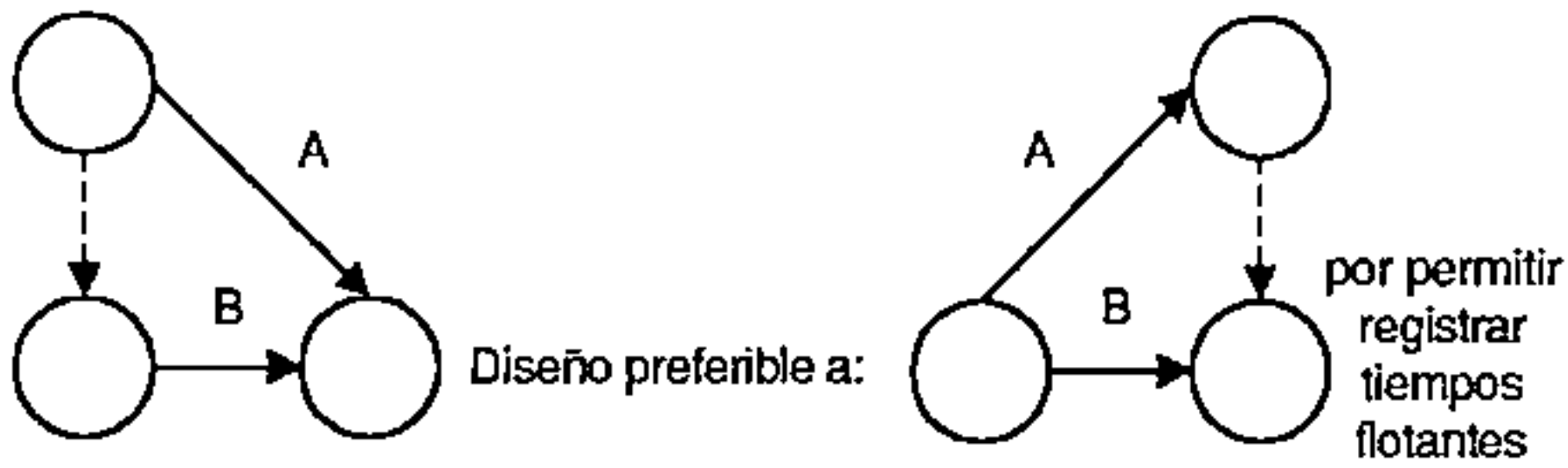
Para el diseño de esta red de planeamiento se respetan ciertas normas y se dan algunas definiciones:

1. Las actividades son representadas por vectores, cuya longitud no tiene relación alguna con el tiempo. Vectores cuyo sentido es siempre izquierda-derecha.
2. Nodo o evento: Es el instante de iniciación o terminación de una actividad, representado por un círculo numerado. Los nodos deben numerarse de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Suele numerarse en forma decimal permitiendo esto la subdivisión de actividades cuando se requieren programaciones detalladas de las mismas, sin alterar la numeración de otros eventos.
3. Actividad ficticia (*dummy*): Se emplea para señalar, en forma convencional —duración nula— que para comenzar una actividad, debe haber sido concluida otra manteniendo la precedencia de una tercera. También son utilizados los *dummy* para evitar que dos actividades pudiesen tener igual código (las actividades se codifican utilizando los números dados a los eventos de iniciación y terminación de las mismas). Se debe tener cuidado en su uso:

Ejemplo uno:

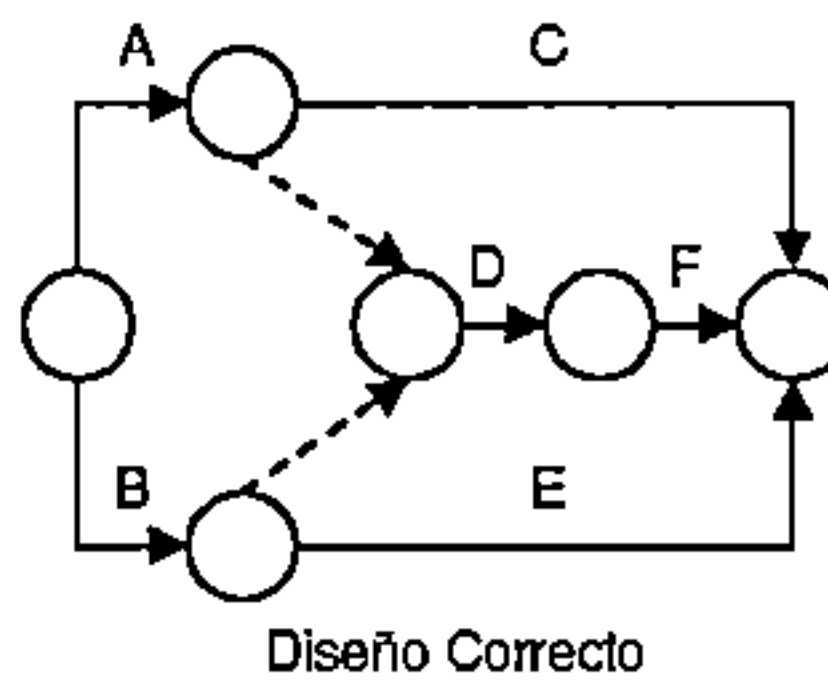
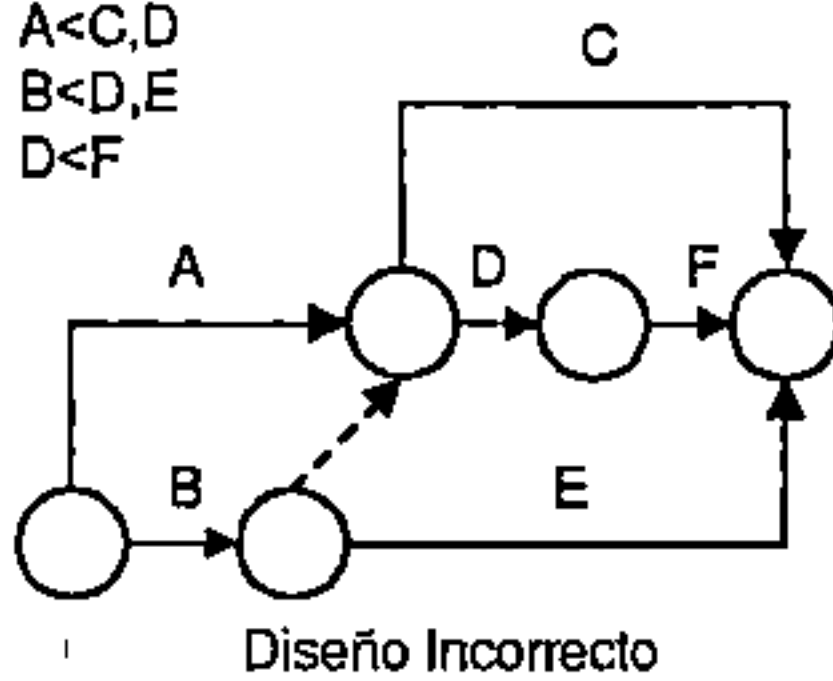


Ejemplo dos:

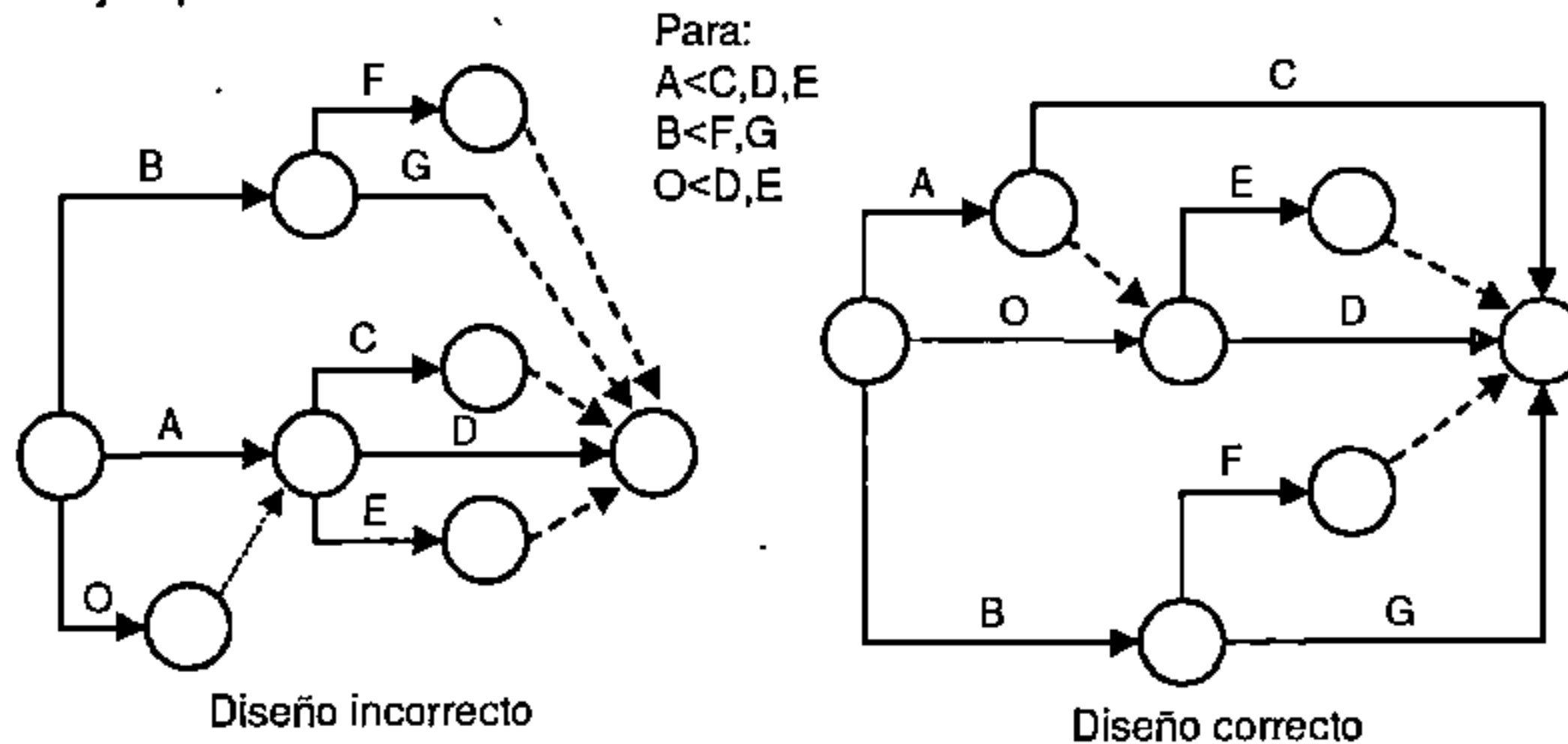


Ejemplo tres:

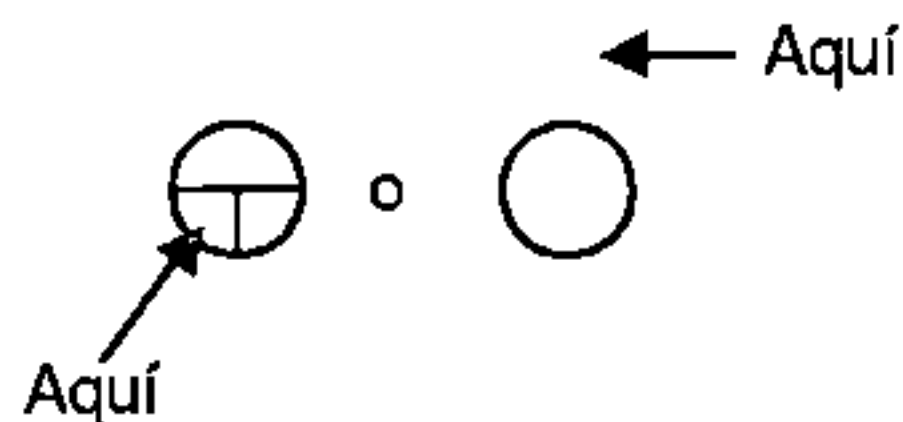
Para:
 $A < C, D$
 $B < D, E$
 $D < F$



Ejemplo cuatro:

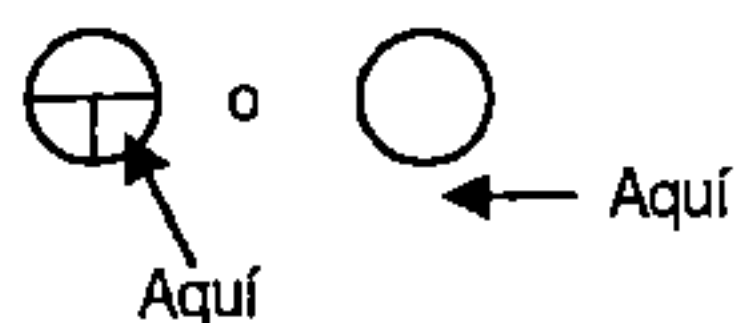


4. Sobre los vectores se indican las denominaciones de las actividades y bajo ellos los tiempos previstos para su ejecución.
5. Tiempos próximos: Se obtienen recorriendo la red de izquierda a derecha, analizando todas las actividades que convergen a un nodo y eligiendo el mayor valor que se indica según alguna de las convenciones utilizables.



Estos tiempos se denominan TPI o TPT (tiempo próximo de iniciación o de terminación de una actividad).

6. Tiempos lejanos: Se obtienen recorriendo la red de derecha a izquierda, analizando todas las actividades que parten de un nodo y eligiendo el menor valor que se indica según alguna de las convenciones utilizadas.



Estos tiempos se denominan TLI o TLT (tiempo lejano de iniciación o de terminación de una actividad).

7. Trayectoria crítica: La diferencia entre los TL y TP de un evento se denomina *tiempo flotante* y mide la demora o tolerancia que puede admitirse, en la iniciación de las actividades que parten de dicho nodo, sin alterar la fecha final del programa.

Cuando estos tiempos coinciden, no existen tolerancias, y el evento es crítico. La sucesión ordenada de actividades críticas componen la trayectoria crítica (*Critical Path*), que es la más extensa entre el nodo inicial y final del programa.

8. Holgura total de una actividad: Es el mayor tiempo que puede retrasarse la terminación de la actividad, sin alterar la terminación del trabajo, pero eliminando los márgenes de las actividades siguientes. Se calcula efectuando la diferencia entre el tiempo lejano, de terminación de la actividad y los tiempos de duración y próximo de iniciación de la misma.
9. Holgura libre de una actividad: Es el mayor tiempo que pueda retrasarse la terminación de la actividad, sin alterar los márgenes de las actividades siguiente. Se calcula efectuando la diferencia entre el tiempo próximo de terminación de la actividad y los tiempos de duración y próximo de iniciación de la misma.

Paso 5: Se calculan y tabulan las *holguras totales y libres de las actividades no críticas* (las críticas no poseen holguras).

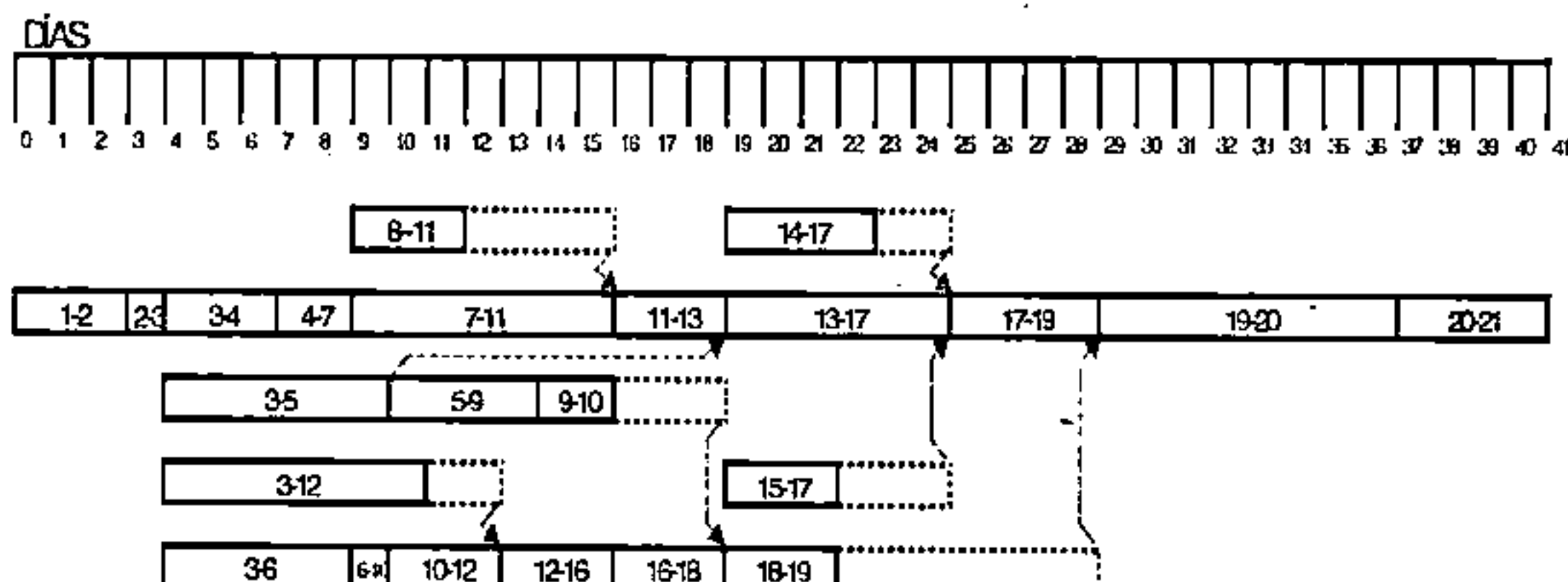
Como ejemplo, en el proyecto de construcción del grifo para la actividad 9-18 "sardinel para surtidores":

$$HT_{9-18} = 26 - 2 - 14 = 10 \text{ días}$$

$$HL_{9-18} = 19 - 2 - 14 = 3 \text{ días}$$

El análisis de *tiempos flotantes y holguras* es importante para la asignación de recursos en la fase de programación, y para el ajuste, en la fase de control de avance, por los atrasos que se puedan producir durante la ejecución.

Paso 6: Se confecciona la *Carta Gantt*.



APLICACIÓN AL ÁREA DE PRODUCCIÓN

En una empresa dedicada a la producción de refrigeradoras se ha decidido iniciar la fabricación de un nuevo modelo, tan pronto como se hayan realizado las veintitrés actividades previstas (diseño y fabricación de utillaje, preparación de máquinas y línea, producción de una serie piloto, pruebas y ajustes) para las cuales se han establecido las precedencias y días laborables necesarios.

Actividades y precedencias Tiempos previstos (días laborables)

		A	<	B	3
A	<	B	<	C, D, E, S	1
B	<	C	<	H	5
B	<	D	<	G	3
B	<	E	<	F, P	6
E	<	F	<	L	4
D	<	G	<	J, K	2
C	<	H	<	I	1
H	<	I	<	T	3
G	<	J	<	N	7
G	<	K	<	N	3
F	<	L	<	U	2
T	<	M	<	U	3
J, K	<	N	<	O, P, Q	3
E, N	<	O	<	R	3
E, N	<	P	<	R	6
E, N	<	Q	<	R	4
O, P, Q	<	R	<	V	4
B	<	S	<	T	7
I, S	<	T	<	M	3
L, M	<	U	<	V	3
R, U	<	V	<	W	8
V	<	W			4

Se pide mediante el *Critical Path Method*:

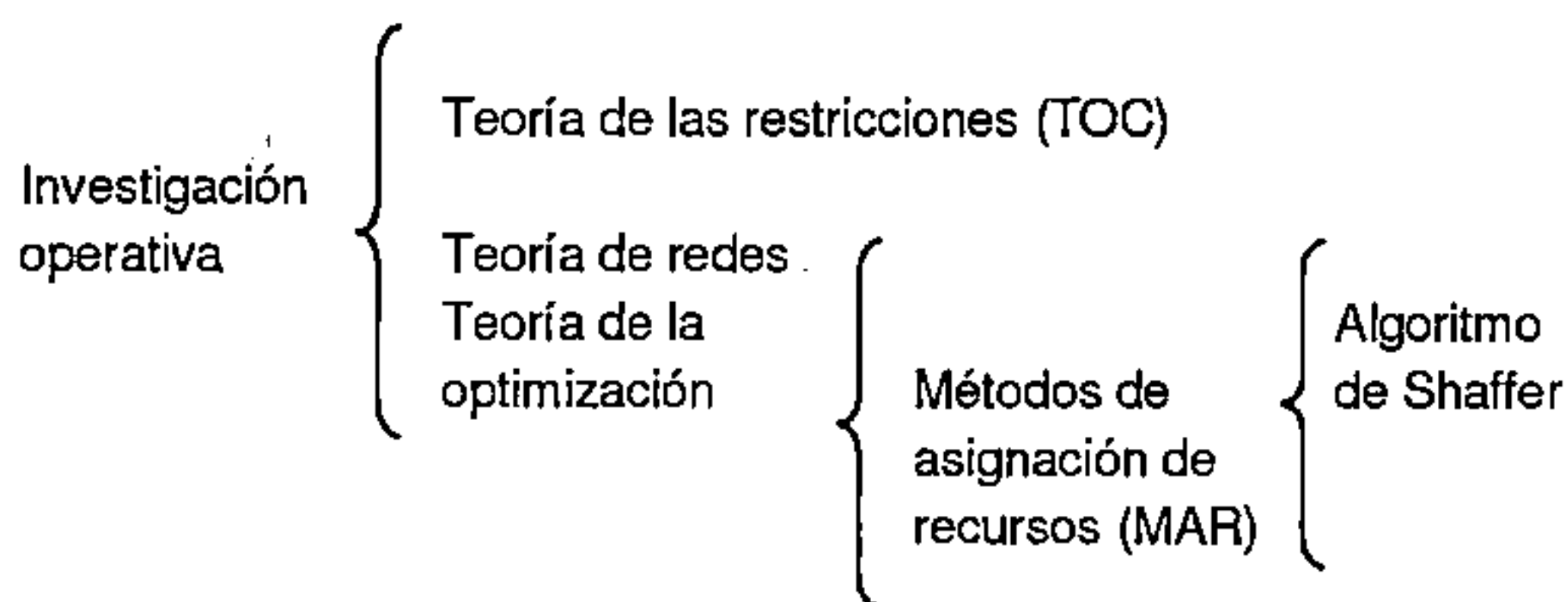
1. Confeccionar el grafo sagital, definir correctamente los *dummy* y codificar las actividades.
2. Definir tiempos próximos y lejanos, trayectoria crítica, tiempos flotantes, holguras totales y libres.
3. Confeccionar la Carta Gantt.

Asignación de recursos (maquinaria y personal)

Utilización

En la estimación del tiempo necesario para realizar una actividad, los presupuestistas tienen en cuenta mano de obra y equipo necesario disponible. Con la programación de las actividades surgen conflictos al reclamar las mismas la asignación simultánea de igual tipo de maquinaria o personal, y atrasos en la ejecución de las obras si no se dispone de suficientes recursos. El algoritmo de Shaffer, uno de los métodos de asignación de recursos (MAR) permite optimizar la asignación de los recursos disponibles durante la programación.

Teoría



Bibliografía

JAUFFRED, F., A. MORENO y J. ACOSTA. *Métodos de optimización*. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1971, p. 388.

Modelo práctico

En una obra de movimiento de tierra, se deben realizar siete actividades. El equipo disponible está compuesto por una topadora, tres cargadores frontales y cinco volquetes.

Precedencias, equipo previsto y tiempos estimados para la realización de las actividades se tabulan:

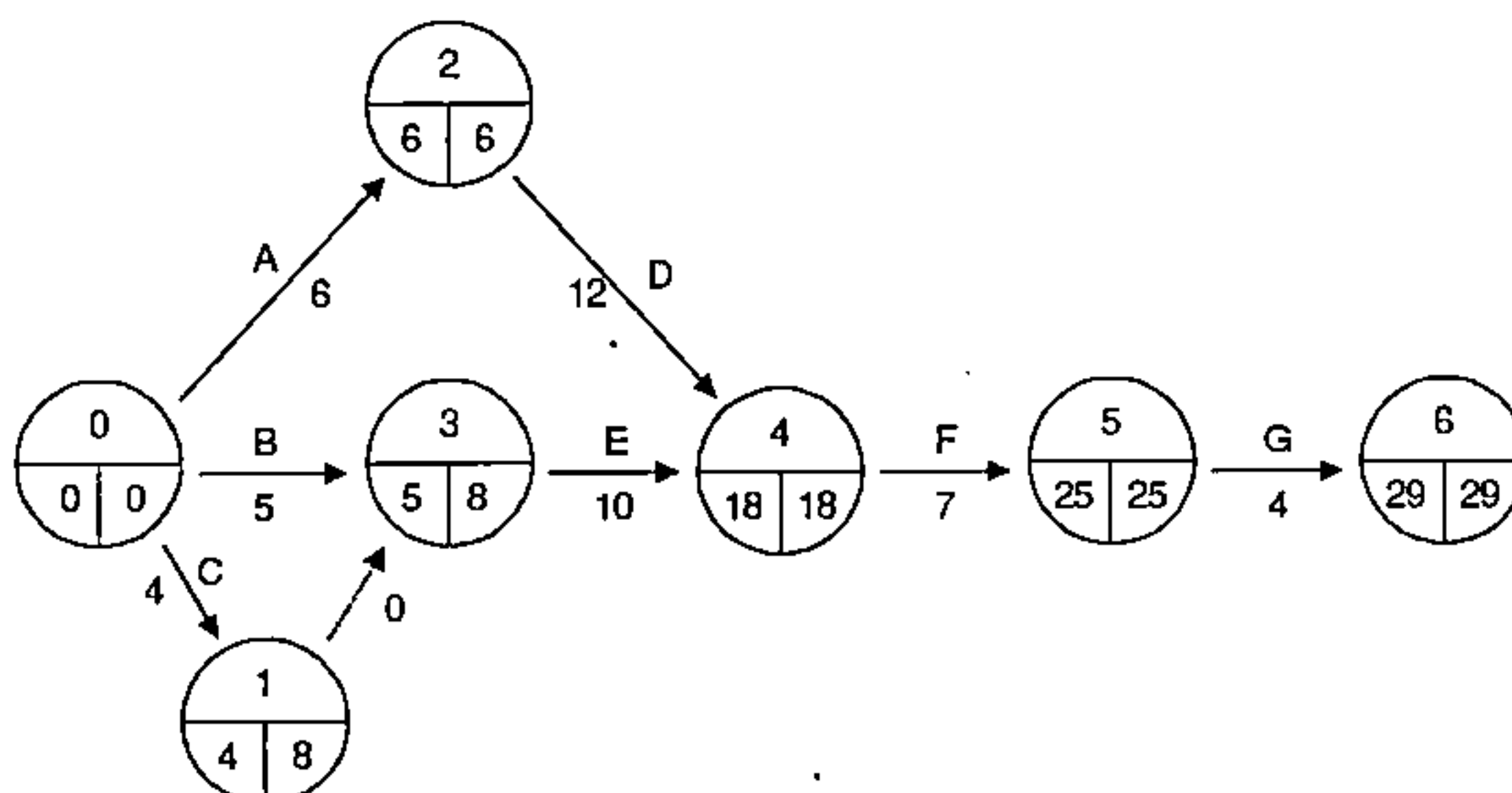
Actividades y precedencias	Equipo previsto			Tiempo estimado (días)
	Topadoras	Cargadores frontales	Volquetes	
A < D	-	-	3	6
B < E	1	-	1	5
C < E	-	1	2	4
A < D < F	-	1	3	12
B, C < E < F	-	2	2	10
D, E < F < G	1	2	2	7
F < G	-	2	-	4
Equipo disponible	1	3	5	

Se desea confeccionar el cronograma de ejecución de la obra y definir el plazo de entrega haciendo uso del algoritmo de Shaffer.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN:

Paso 1: Se confecciona el grafo sagital en una de sus dos modalidades:

Modalidad 1



Se observa que debe modificarse la programación por falta de volquetes durante los primeros cuatro días.

Paso 3: De todas las actividades en conflicto se eligen dos, aquéllas que posean el mínimo TPT y el máximo TLI. Se establece la secuencia entre las dos actividades escogidas, la de mínimo TPT va a preceder a la otra. Si se da el caso de *iguales mínimos TPT se escoge de ellas la que posea el mayor TLI*. Si se da el caso de *iguales máximos TLI se escoge de ellas la que posea el menor TPT*.

Actividades en conflicto	TPI	TLI	TPT	TLT
A	0	0	6	6
B	0	0	5	8
C	0	0	4	8

El mínimo TPT lo tiene C. A, B y C tienen el mismo TLI pero B tiene el TPT que más se acerca al mínimo TPT. Se establece la secuencia entre las dos actividades escogidas, la de mínimo TPT va a preceder a la de máximo TLI. En este caso C precede a B: $C < B$.

Paso 4: Se confecciona un nuevo grafo sagital considerando:

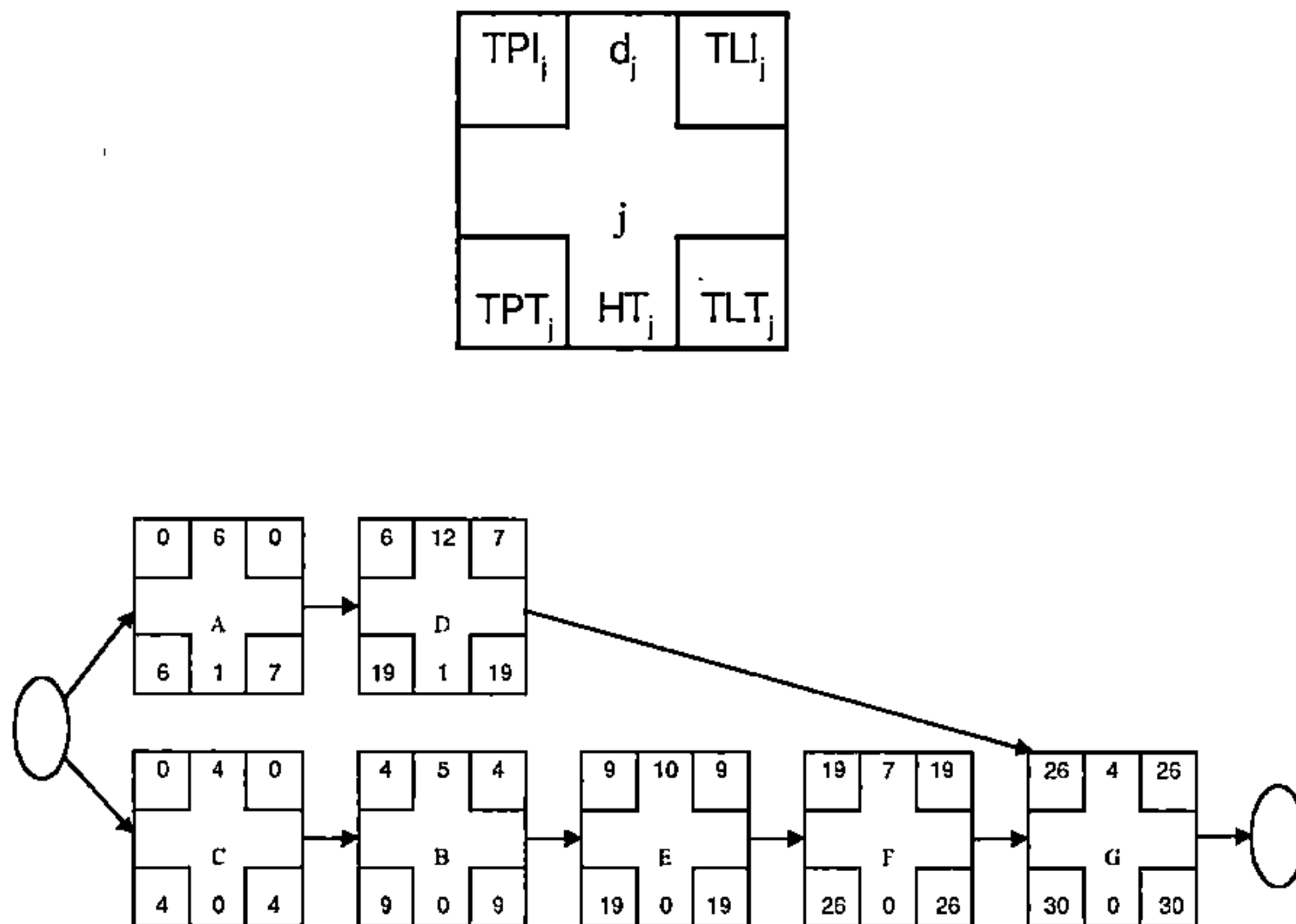
```

          A < D
      C < B < E
          C < B
      A < D < F
      B < E < F
D, E < F < G
      F < G

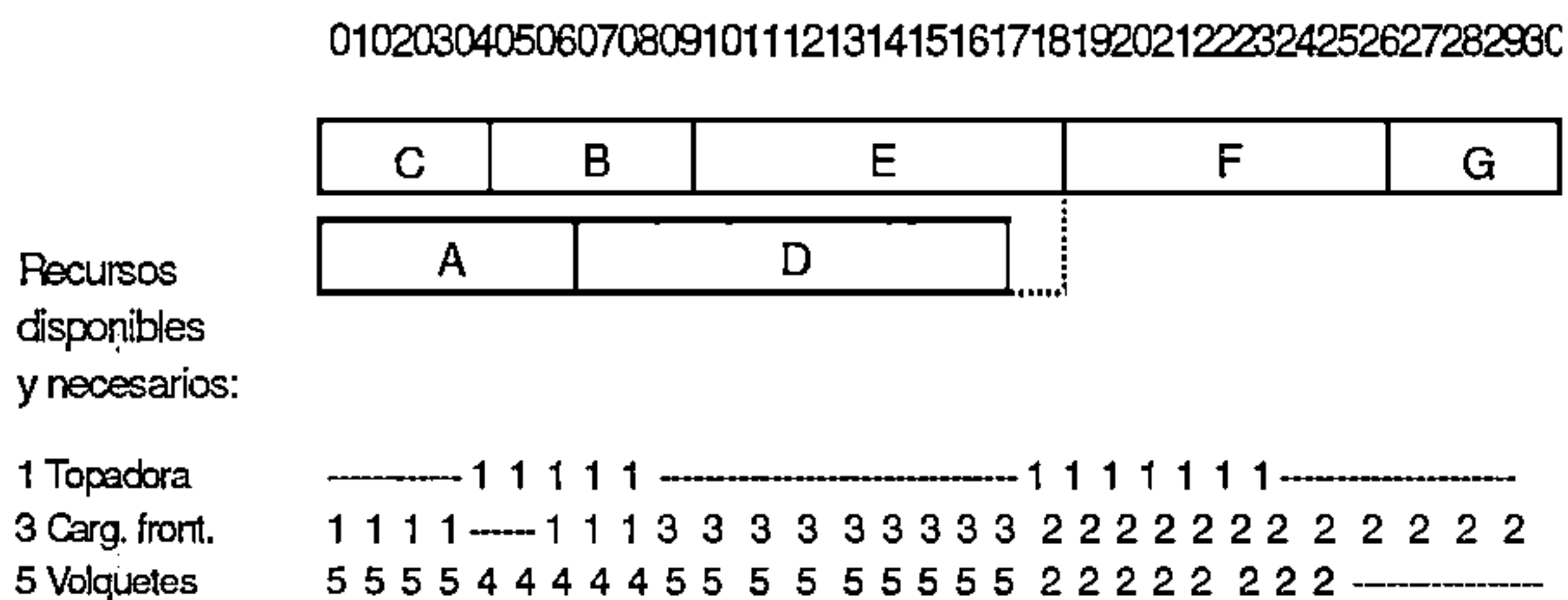
```

Resultado de la aplicación de la teoría de las restricciones (TOC) por disponibilidad de recursos. Utilizaremos el método de las potenciales de B. Roy, respetando sus convenciones de diseño:

j = tarea j
 d_j = duración de j
 HT_j = holgura total de j
 TPI_j = tiempo próximo de iniciación de j
 TPT_j = tiempo próximo de terminación de j
 TLI_j = tiempo lejano de iniciación de j
 TLT_j = tiempo lejano de terminación de j



Paso 5: Se confecciona el nuevo diagrama de Gantt, se asignan los recursos previstos, se observan las actividades en conflicto.



Se observa que no existen actividades en conflicto, consecuentemente el cronograma de ejecución del proyecto será el diagramado, y el plazo de entrega será de 30 días.

Si hubiesen actividades en conflicto se procederá conforme con el paso 3 y se repetirá el procedimiento según el algoritmo de Shaffer.

Se confecciona el diagrama interrelacional de actividades, definiendo días-máquina necesarios, e información básica para presupuestar y cotizar precios.

Diagrama interrelacional de actividades
(Correspondiente a la red del paso 4)

Actividad	Recursos necesarios			Asignación	CRONOGRAMA	Días-máquina necesarios			
	T	C	V			T	C	V	
0-1	-	-	3	o o o	A	-	-	18	
0-2	-	1	2	o	C	-	4	8	
1-4	-	1	3	o o o	D	-	12	36	
2-3	1	-	1	o	B	5	-	5	
3-4	-	2	2	o o	E	-	20	20	
4-5	1	2	2	o o o	F	7	14	14	
5-6	-	2	-	o	G	-	8	-	
Total*						12	58	101	

Topadora T1

Cargadora frontal C1

Cargadora frontal C2

Cargadora frontal C3

Volquete V1

Volquete V2

Volquete V3

Volquete V4

Volquete V5

* con esta información se puede presupuestar el costo del servicio

APLICACIÓN AL ÁREA DE PRODUCCIÓN

Para el lanzamiento de la producción inicial de un lote de 2,400 juguetes se confecciona la siguiente tabla:

Actividades y precedencias	Personal de línea previsto		Tiempo estimado (días)
	Emsambladores	Inspectores	
A < D	3	-	6
B < E	1	-	5
C < E	2	1	4
A < D < F	3	1	12
B, C < E < F	2	2	10
D, E < F < G	2	2	7
F < G	-	2	4
Personal disponible	5	3	

Importa confeccionar el programa de producción y definir el tiempo necesario para completar la O/T.

Costo de capital y cálculo del valor actual neto

Utilización	Si se solicita la evaluación de un proyecto teniendo en cuenta el palanqueo financiero, el cálculo del VAN deberá hacerse considerando que: • Las proyecciones de los cuadros de resultados (pérdidas y ganancias) se efectúan en moneda constante (términos reales). • Los intereses que cobran los bancos son nominales. • Los interesados en convertirse en accionistas asumen un riesgo con la mudanza del ahorro a la inversión. • La relación deuda/patrimonio se va modificando con el servicio de deuda y consecuentemente el costo ponderado de capital (K).
Teoría	Teoría del flujo de fondos descontado. Método de Ezra Solomon.
Bibliografía	VAN HORNE, J. y J. WACHOWICZ. <i>Fundamentos de administración financiera</i>. 8a. edición. México: Prentice Hall, 1994, p. 387. SOLOMON, E. y J. PRINGLE. <i>Introducción a la administración financiera</i>. México: Diana, 1984, p. 46.
Modelo práctico	Las proyecciones del cuadro de pérdidas y ganancias sin cargas financieras de un proyecto para la producción de alambón de cobre, son:

	Año n				
En mill. \$	1	2	3	4	5
Ventas	12	12	12	12	12
(-) Costos de producción, gastos de administración y ventas	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
Renta imponible	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
(-) Impuesto a la renta ¹	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Utilidad neta	3	3	3	3	3

El flujo de fondos sin cargas financieras:

	Año n					
En mill. \$	0	1	2	3	4	5
FUENTES:						
Inversión ²	(29.00)					
Ventas		12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Recuperación capital de trabajo y rescate de activos						17.00
USOS:						
Costos de producción vendida y gastos de administración y ventas ³		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Impuesto a la renta		3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
Indemnización de trabajadores						0.70
Disponibilidad de fondos	-	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70
Factor de descuento ⁴	1.000	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209

Beneficios	VAI = 31.72	-	5.18	4.71	4.28	3.89	13.66
Costos	$\sum VAE = -29.00$	(29.00)	-	-	-	-	-
VANE	= 2.72						
TIRE	= 12.88%						

1 Escala del Impuesto a la renta

Renta imponible	Tasa (%)	Impuesto parcial	impuesto total
Hasta 1 mill \$	43%	0,43	0,43
Entre 1 y 2	50%	0.50	0,93
Más de 2	55%		

- 2 Inmuebles, maquinaria, equipo, muebles y enseres 22
 Inversiones intangibles 3
 Caja, bancos y existencias 4
- 3 Libre de provisiones para amortización de inversiones intangibles, depreciación de activo fijo e indemnización por tiempo de servicios 2.7 mill.\$/año

- 4 Costo de capital $k_1 = 10\%$ anual
 Factor de descuento $= (1 + k_1)^{-n}$

Una porción de 11 mill.\$ de la inversión en activo fijo y capital de trabajo es financiable por un banco.

Los desembolsos se producirán según el cronograma de inversiones

Ocurrencia	mill. \$
30-06-0	8
30-09-0	3
	11

Las características del préstamo:

Período de gracia	Ocurrencia de la inversión - Fin del primer trimestre de operación.
Amortizaciones	10, iguales, trimestrales, consecutivos.
Interés: 11% anual	<i>Spread</i> o tasa diferencial de 1.4% por encima del libor de 9.6% anual.
Comisiones	2% <i>flat</i> o de una sola vez por servicio.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Debió consistir en la definición del costo de capital (k_1). Prime-Rate (EE UU) y libor (Europa), 10.5% anual y 9.6% anual respectivamente a diciembre de 1988, son las tasas de interés con que se prestan dinero los bancos de primera categoría considerando pérdida del poder adquisitivo de la moneda, costos y gastos de gestión.

Si se sabe que un ahorrista puede obtener por ejemplo en bonos 6% anual de interés real (por encima de la inflación), se puede verificar que prime y libor corresponden a las tasas de interés nominal obtenidos considerando la inflación (ϕ).

$$i_r = \frac{1+i_n}{1+\phi} - 1 = 0.06$$

$$i_r = \frac{1+0.105}{1+\phi_{\text{USA}}} - 1 = 0.06 \implies \phi_{\text{EE UU}} = 4.25\%$$

$$i_r = \frac{1+0.096}{1+\phi_{\text{EUROPA}}} - 1 = 0.06 \implies \phi_{\text{EUROPA}} = 3.40\%$$

En forma recíproca se puede afirmar que si el prime o el libor son en estos momentos 10.5% y 9.6% y que las inflaciones proyectadas para un año son 4.25% y 3.4%, la tasa de interés real que puede obtener un ahorrista es de 6%.

Se sabe que el *palanqueo financiero* de un proyecto se realiza mediante:

- Aportes de capital de los accionistas (patrimonio) complementados con préstamos de los bancos (deuda).
- La decisión de invertir en un proyecto convirtiéndose en accionista de una empresa implica un riesgo, que es distinto de un proyecto a otro y que depende de la confiabilidad de los presupuestos de los estudios de preinversión. Consecuentemente cuanto mayor sea su duda, mayor el número de puntos extra que exigirá en el cálculo del valor actual neto (VAN).

Riesgo	r(%)	K1 (%)
Bajo	4	10
Mediano	9	15
Alto	14	20

Paso 2: Consiste en el cálculo del costo del préstamo (k_2) y el servicio de la deuda.

El costo del préstamo (k_2), en moneda constante, lo obtenemos deflactando la tasa de interés nominal (i), considerando la tasa anual de inflación proyectada $\phi = 3.4\%$

$$K_2 = \frac{1+i}{1+\phi} - 1 = \frac{1+0.11}{1+0.034} - 1 = 7.35\% \text{ anual} = 1.84\% \text{ trimestral}$$

El servicio de la deuda:

Ocurrencia	Préstamo	Comisiones	Intereses	Amortizaciones	Deuda
30-06-0	8	0.16	--	--	8
30-09-0	3	0.06	0.14720	--	11
31-12-0	--	--	0.20240	--	11
Cargas finan. preoperativas		0.22	+	0.34960	
31-03-1	--	--	0.2040	1.1	9.9
30-06-1	--	--	0.18216	1.1	8.8
30-09-1	--	--	0.16192	1.1	7.7
31-12-1	--	--	0.14168	1.1	6.6
Subtotal servicio de la deuda, año 1			0.68816	+	4.4
31-03-2	--	--	0.12144	1.1	5.5
30-06-2	--	--	0.10120	1.1	4.4
30-09-2	--	--	0.08096	1.1	3.3
31-12-2	--	--	0.06072	1.1	2.2
Subtotal servicio de la deuda, año 2			0.36432	+	4.4
31-03-3	--	--	0.04048	1.1	1.1
30-06-3	--	--	0.02024	1.1	
Subtotal servicio de la deuda, año 3			0.06072	+	2.2

Para el banco el flujo de fondos ha sido el siguiente:

0	30-06-0	(7.84)
1	30-09-0	(2.7928)
2	31-12-0	0.2024
3	31-03-1	1.3024
4	30-06-1	1.28216
5	30-09-1	1.26192
6	31-12-1	1.24168
7	31-03-2	1.22144
8	30-06-2	1.2012
9	30-09-2	1.1896
10	31-12-2	1.16072
11	31-03-3	1.14048
12	30-06-3	1.12024

Y la tasa de interés equivalente o tasa interna de retorno:

TIR = 2.15% trimestral = 8.88% anual

Paso 3: Se calcula el VAN correspondiente al flujo de fondos con *cargas financieras* descontando los valores con un costo ponderado de capital (K) que se modifica con el servicio de la deuda.

Las proyecciones del cuadro de pérdidas y ganancias con cargas financieras serían:

	Año n				
En mill. \$	1	2	3	4	5
Ventas	12	12	12	12	12
(-) Costos de producción y gastos de administración y ventas	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
(-) Gastos financieros	6,69	0,36	0,06	=	=
Renta imponible	5,61	5,94	6,24	6,3	6,3
(-) Impuesto a la Renta	2,92	3,1	3,26	3,3	3,3
Utilidad neta	2,69	2,84	2,98	3	3

El flujo de fondos con cargas financieras:

En mill. \$	Año n					
	0	1	2	3	4	5
FUENTES:						
Aportes de capital ¹	(18.57)					
Préstamos	(11)					
Ventas		12	12	12	12	12
Recuperación capital de trabajo y rescate de activos						17
USOS:						
Costos de producción vendida y gastos de administración y ventas ³		3	3	3	3	3
Gastos financieros		0.69	0.36	0.06		
Impuesto a la Renta		2.92	3.1	3.26	3.3	3.3
Indemnización de trabajadores						0.7
Disponibilidad de fondos	--	5.39	5.54	5.68	5.70	22.00
Factor de descuento ²	1.000	0.9140	0.8295	0.7513	0.683	0.6209

Beneficios $\sum VAI = 31.35$ -- 4.93 4.6 4.27 3.89 13.66

Costos $\sum VAE = -29.57$ (29.57) -- -- -- -- --

VAN = 1.78

1 Incluyendo 0.57 mill.\$ de cargas financieras preoperativas.

2 Solomon dice que el VAN en la evaluación económica con el palanqueo financiero, debe hacerse considerando que la relación deuda/patrimonio (D/P) se va modificando a lo largo del horizonte proyectado y consecuentemente el costo ponderado de capital (K). Siendo en este caso el activo total $A = P + D = 18.57 + 11 = 29.57$ mill.\$

El costo ponderado de capital $K = k_1 P/A + k_2 D/A$ donde k_1 y k_2 son los costos de capital y préstamo respectivamente.

$$K = 0.10 \frac{P}{A} + 0.0735 \frac{D}{A}$$

Año n	Patrimonio	Deuda	$K_n(\%)$	Factor de descuento $(1+K_n)^n$
0	18.57	11	9.01	1.0000
1	22.97	6.6	9.41	0.914
2	27.37	2.2	9.8	0.8295
3	29.37	--	10	0.7513
4	29.37	--	10	0.6830
5	29.37	--	10	0.6209

3 Libre de provisiones.

Paso 4: Se calcula el VANF en su forma convencional para que los candidatos a accionistas puedan visualizar los efectos del financiamiento en su negocio.

	Año n					
En mill. \$	0	1	2	3	4	5
FUENTES:						
Aportes de capital (*1)	(18.57)					
Ventas		12	12	12	12	12
Recuperación capital de trabajo y rescate de activos						17
USOS:						
Costos de producción vendida y gastos de administración y ventas (*3)		3	3	3	3	3
Gastos financieros		0.69	0.36	0.06		
Impuesto a la Renta		2.92	3.1	3.26	3.3	3.3
Amortización de la deuda		4.4	4.4	2.2		
Indemnización de trabajadores						0.7
Disponibilidad de fondos	--	0.99	1.14	3.48	5.7	22
Factor de descuento (*2)	1.000	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209
Beneficios $\sum VAI = 22.00$	--	0.9	0.94	2.61	3.89	13.66
Costos $\sum VAE = -18.57$	(18.57)	--	--	--	--	--
VANF = 3.44						
TIRF = 14.47 %						

CAPÍTULO II

PRODUCCIÓN

Definición del mix de producción por programación lineal

Utilización	El "mix de producción", es decir las cantidades a fabricar de los diferentes artículos requeridos por ventas para un período sujeto a planeamiento, puede ser definido atendiendo tanto a las restricciones de ventas como de producción, maximizando las utilidades.
Teoría	Programación lineal, Método Simplex de George Dantzing.
Bibliografía	GROFF, G. <i>Planeamiento y control de producción: La gerencia administrativa</i> . Buenos Aires: El Ateneo, 1975, p. 67.
Modelo práctico	Una empresa que se dedica al ensamble de tres modelos de ventiladores desea definir cuántas unidades mensuales le conviene producir de cada tipo.

La información de ventas y producción es la siguiente:

	PRODUCTOS		
Información para el planeamiento de la producción	1 ventilador de pie	2 ventilador de mesa	3 ventilador de techo
Tiempos de ensamble (HH/u)	0,4	0,2	0,3
Utilidad unitaria (\$/u)	25	40	35
Operarios disponibles 20 op.			
Horas disponibles 190 H/op.			
Producción máxima vendible	8,000 u	7,000 u	12,000 u
Producción máxima económicamente aceptable	2,000 u	1,000 u	1,000 u

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se definen las variables reales o incógnitas: producción del mes

X_1	:	# de unidades de ventiladores de pie
X_2	:	# de unidades de ventiladores de mesa
X_3	:	# de unidades de ventiladores de techo

Paso 2: Se formulan las restricciones o inecuaciones (que deben ser ecuaciones de primer grado = programación lineal)

Labor disponible	$0.4X_1 + 0.2X_2 + 0.3X_3 \leq 190 \times 20$
Ventas posibles	$X_1 \leq 8000$
	$X_2 \leq 7000$
	$X_3 \leq 12000$
Producción económica	$X_1 \geq 2000$
	$X_2 \geq 1000$
	$X_3 \geq 1000$

Paso 3: Se define la función objetivo o funcional (Z), para maximizar utilidades

$$Z_{\max} = 25X_1 + 40X_2 + 35X_3$$

Paso 4: Para aplicar el Método Simplex es necesario convertir las inecuaciones en igualdades.

X_1				H_4	+	Q_4	=	2000
	X_2		-	H_5	+	Q_5	=	1000
		X_3	-	H_6	+	Q_6	=	1000
$0.4X_1$	+	$0.2X_2$	+	$0.3X_3$	+	H_7	=	3800
X_1				+	H_8		=	8000
	X_2			+	H_9		=	7000
		X_3		+	H_{10}		=	12000

donde H_i son las variables "slack" de holgura y Q_i las variables artificiales.

Paso 5: Se confecciona una primera matriz. En el tablero N° 1 se halla una solución básica inicial, la cual se irá optimizando a medida que progresa el algoritmo.

C_j			25	40	35	0	0	0	0	-M	-M	-M	0	0	0	
$\hat{C}_i$	X_k	b_i	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_0^1	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	$\emptyset$
0	X_4	3800	0.4	0.2	0.3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19000
0	X_5	8000	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-
0	X_6	7000	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7000
0	X_7	12000	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-
-M	Q_4	2000	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	-
-M	Q_5	1000	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	1000
-M	Q_6	1000	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	-
	Z_j		-M	-M	-M	0	0	0	0	M	M	M	-M	-M	-M	
	$C_j - Z_j$		$25 + M$	$40 + M$	$35 + M$	0	0	0	0	-M	-M	-M	0	0	0	

↑
Entra X_2

Sale Q_5 →

donde:

C_j
 b_i

: Coeficiente de los beneficios de la función objetivo
: Columna de los términos independientes.

C_i	:	Columna de los beneficios asociados a las variables de holgura y artificiales
a_{ij}	:	Coefficientes de las restricciones
Z_j	:	$C_j \times a_{ij}$
$d_j = C_j - Z_j$	:	Valores marginales de la función objetivo
$\phi = \frac{b_i}{a_{ij}}$	:	Relación de elección del pivote, donde k es la columna con máxima d_j

Paso 6: Analizar los d_j ; si todos son menores o iguales a cero la solución es óptima. Si existe por lo menos un valor estrictamente positivo la solución no es óptima y se deberá escoger la variable que entre a la base (aquella que posea el máximo d_j positivo) (X_2).

Paso 7: Se calculan los valores ϕ y se escoge el menor como variable que sale de la base (Q_5).

Paso 8: Se construye un nuevo tablero a partir del anterior de la siguiente manera:

- Se completa las columnas X_k y C_i intercambiando el coeficiente de la variable que salió de la base por la que entra.
- Se transforman los a_{ij} de manera que el elemento pivote (intersección de la fila de la variable que sale con la de la columna de la variable que entra a la base) se convierta en "uno" y todos los coeficientes encima o debajo de él se conviertan en cero (a excepción de la fila de Z_j). Para ello se deben utilizar las operaciones elementales de transformación de matrices.

Así, por ejemplo, en el tablero inicial sale de la base la variable Q_5 por tener el mínimo $\phi = 1000$ y entra X_2 por tener el máximo $d_j = 40 + M$. Para obtener el tablero N° 2, una vez que entra la variable X_2 a la base con sus respectivos coeficientes, se resta (del tablero N° 1) la tercera fila menos la primera fila, para obtener ceros en cada elemento sobre y debajo del elemento pivote.

Paso 9: Volver al paso 6 y así sucesivamente hasta llegar al tablero óptimo. La elaboración de los tableros necesarios se muestra a continuación.

Tablero N° 1

Q			25	40	35	0	0	0	0	0	0	0	-M	-M	-M	
C_j	X_k	b_j	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	θ
0	H_7	3000	04	02	03	1	0	0	0	0	02	03	0	0	0	1000
0	H_8	8000	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	—
0	H_9	7000	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7000
0	H_{10}	12000	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	—
-M	Q_4	2000	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	—
40	Q_5	1000	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	1000
35	Q_6	1000	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	—
Z_j			-M	-M	-M	0	0	0	0	M	M	M	-M	-M	-M	
$d_j = C_j - Z_j$			25+M	40+M	35+M	0	0	0	0	-M	-M	-M	0	0	0	

Tablero N° 2

C_j			25	40	35	0	0	0	0	0	0	0	M	M	M	
C_j	X_k	b_i	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	θ
0	H_7	300	04	0	03	1	0	0	0	0	02	0	0	-02	0	300
0	H_8	800	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	—
0	H_9	800	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	—
0	H_{10}	1200	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1200
M	Q_4	200	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	—
40	X_2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	—
M	Q_6	100	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	100
Z_j			M	0	M	0	0	0	0	M	40	M	M	40	M	
$d_j = C_j - Z_j$			25+M	0	35+M	0	0	0	0	-M	40	-M	0	M-40	0	

Tablero N° 3

C_j			25	40	35	0	0	0	0	0	0	0	M	M	M	
C_j	X_k	b_i	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	θ
0	H_7	300	04	0	0	1	0	0	0	0	02	03	0	-02	-03	300
0	H_8	800	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	800
0	H_9	800	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	—
0	H_{10}	1000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	—
M	Q_4	200	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	200
40	X_2	100	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	—
35	X_3	100	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	—
Z_j			M	40	35	0	0	0	0	M	40	35	M	40	35	
$d_j = C_j - Z_j$			25+M	0	0	0	0	0	0	-M	40	35	0	M-40	M-35	

Tablero N° 4

C_j			25	40	35	0	0	0	0	0	0	0	M	M	M	
C_j	X_k	b_i	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	θ
0	H_7	2500	0	0	0	1	0	0	0	04	02	03	-04	-02	-03	2500
0	H_8	8000	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	0	—
0	H_9	8000	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	8000
0	H_{10}	11000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	—
25	X_1	2000	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	—
40	X_2	1000	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	—
35	X_3	1000	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	—
Z_j			25	40	35	0	0	0	0	-25	-40	-35	25	40	35	
$d_j = C_j - Z_j$			0	0	0	0	0	0	0	25	40	35	M-25	M-40	M-35	

Tablero N° 5

C_j			25	40	35	0	0	0	0	0	0	0	-M	-M	-M	
C_j	X_K	b_j	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	$\emptyset$
0	H_7	1300	0	0	0	1	0	-0.2	0	0.4	0	0.3	-0.4	0	-0.3	4333.33
0	H_8	6000	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	0	—
0	H_9	6000	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	—
0	H_{10}	11000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	11000
25	X_1	2000	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	—
40	X_2	7000	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	—
35	X_3	1000	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	—
Z_j			25	40	35	0	0	40	0	-25	0	-35	25	0	35	
$d_j = C_j - Z_j$			0	0	0	0	0	-40	0	25	0	35	-M-25	-M	-M-35	

Tablero N° 6
(tablero óptimo) por haberse logrado la no existencia
de valores positivos de $d_j = C_j - Z_j$

C_j			25	40	35	0	0	0	0	0	0	0	-M	-M	-M	
C_j	X_K	b_j	X_1	X_2	X_3	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_4	H_5	H_6	Q_4	Q_5	Q_6	$\emptyset$
0	H_7	4333.33	0	0	0	3.33	0	-0.66	0	1.33	0	1	-1.33	0	-1	
0	H_8	6000	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	0	
0	H_9	6000	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	
0	H_{10}	6666.6	0	0	0	-3.33	0	0.66	1	-1.33	0	0	1.33	0	0	
25	X_1	2000	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	
40	X_2	7000	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
35	X_3	5333.33	0	0	1	3.33	0	-0.66	0	1.33	0	0	-1.33	0	0	
Z_j			25	40	35	116.6	0	16.66	0	21.66	0	0	-21.66	0	0	
$d_j = C_j - Z_j$			0	0	0	-116.6	0	-16.66	0	-21.66	0	0	-M+21.6	-M	-M	

Del tablero óptimo se tiene que la producción recomendable será:

2000 ventiladores de pie (producto 1)
7000 ventiladores de mesa (producto 2)
5333.33 ventiladores de techo (producto 3)

Consecuentemente, la utilidad máxima será:

$$Z_{\max} = 25 \times 2000 + 40 \times 7000 + 35 \times 5333.33 = \$ 516666.66$$

La interpretación de las holguras en el tablero N° 6 (óptimo) es la siguiente:

H_7	=	0	Se han utilizado todas las horas disponibles.
H_8	=	6000	Se pueden producir 6,000 unidades más del producto 1.
H_9	=	0	No se deben producir más unidades del producto 2 pues no se venderán.
H_{10}	=	6666.66	Se pueden producir 6,666 unidades más del producto 3.
H_4	=	0	Se está cumpliendo exactamente con la producción mínima económica del producto 1.
H_5	=	6000	Se están produciendo 6,000 unidades más de la producción mínima económica del producto 2.
H_6	=	4333.33	Se están produciendo 4,333 unidades más de la producción mínima económica del producto 3.

Balanceo de línea

Utilización	El balanceo de línea surgió de la necesidad de distribuir uniformemente los tiempos de ejecución de las operaciones de montaje sobre fajas transportadoras. Posteriormente se extendió también a las operaciones de elaboración por los beneficios que genera la más rápida rotación de la producción en proceso. Una investigación realizada por A. Mastor, en la Universidad de California, Los Ángeles, estableció que de las diferentes técnicas existentes para el balanceo de líneas, las Helgeson y Arcus son las más efectivas e indicadas para el diseño de sistemas expertos rápidos en agrupar las operaciones elementales del proceso y definir el programa de producción.
Teoría	Teoría de redes. Balance de líneas. Algoritmos de Helgeson & Birnie y de Albert Arcus.
Bibliografía	BUFFA, E. <i>Sistemas de producción e inventario: Planeación y control</i>. 7a. edición. México: Limusa, 1992, p. 313. MIZE, J. <i>Planificación y control de operaciones</i>. Bogotá: Prentice Hall, 1973, p. 98.
Modelo practico	En una línea de montaje de ruedas se deben armar por razones de reposición de stocks, durante el mes que se inicia, los productos DGH y ABCDEF en la proporción de 1/4 haciendo uso de los 5 operarios disponibles.

Para el balanceo es necesario conocer:

1. Los tiempos estándar elementales
2. Las precedencias a respetar

La rueda ABCDEF, cuya demanda es de 320 u/día y su costo 16 \$/u, está compuesto por:

- A Cuerpo
- B Rodaje
- C Cubierta
- D Soporte
- E Buje
- F Eje

Las operaciones elementales, precedencias y tiempos estándar:

Operación		Tstd
Código de precedencias	Descripción	(seg.Homb./u)
1 < 8	Soldado de E a lado izq. de D	22
2 < 8	Soldado de E a lado der. de D	22
3 < 4	Rectificado interior de A	15
3 < 4 < 5,6	Rectificado exterior de A	30
4 < 5 < 8	Fijación de B a A	10
4 < 6 < 7	Fijación de C a A	5
6 < 7 < 8	Vulcanizado de C sobre A	40
1,2,5,7 < 8 < 9	Ensamble final	13
8 < 9 < 10	Soldado de extremo de F a D	22
9 < 10 < 11	Ajuste y control	30
10 < 11	Empaque	15

$$\sum T_{std} = 224 \frac{\text{seg} \times \text{Homb.}}{u}$$

La rueda DGH, cuya demanda es de 80 u/día y su costo 4 \$/u, está compuesta por:

- D Soporte
- G Llanta
- H Eje

Las operaciones elementales, precedencias y tiempos estándar:

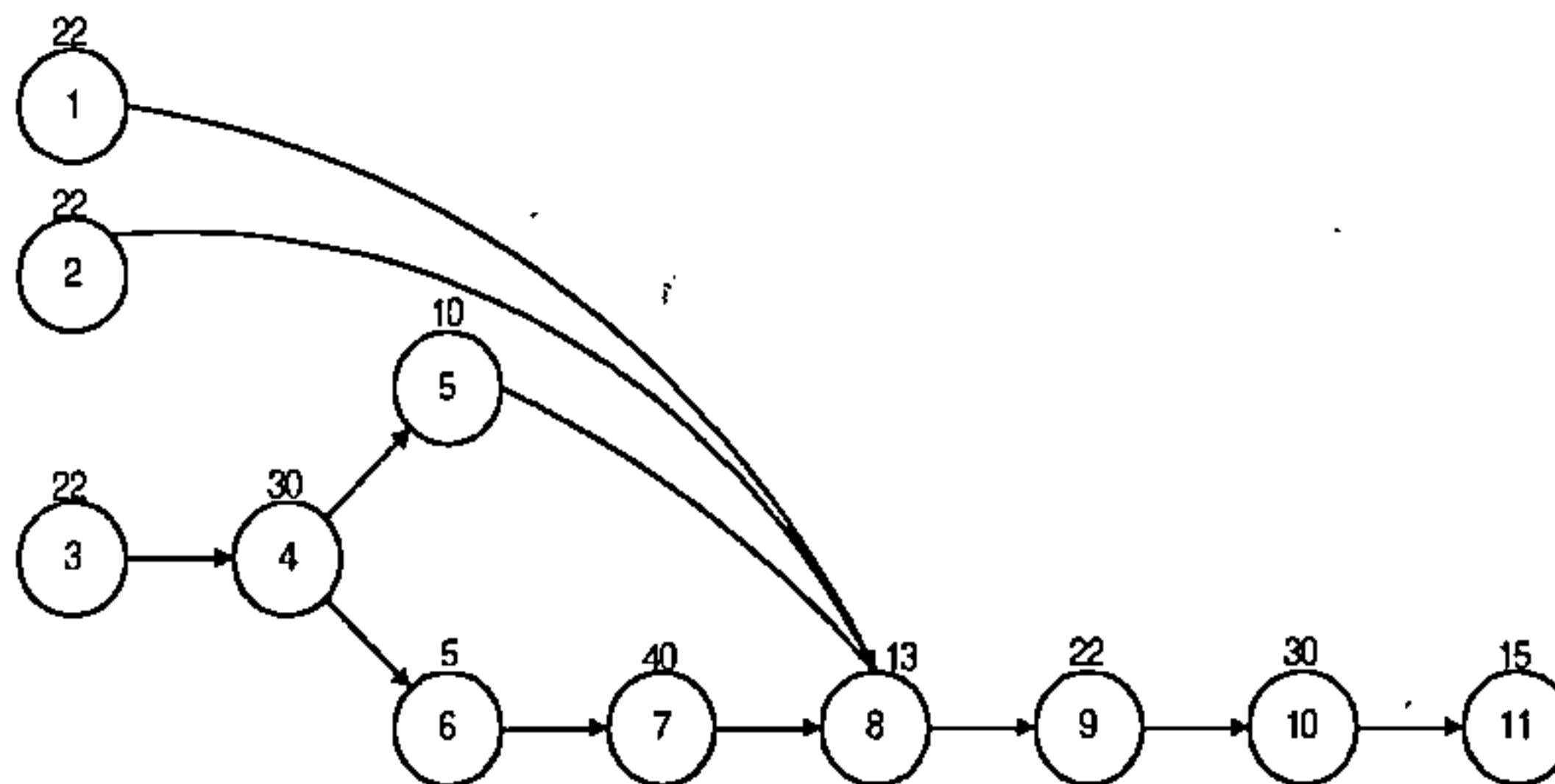
Operación		Tstd
Código de precedencias	Descripción	(seg.Homb./u)
1 < 2	Rectificado interior de G	15
2 < 3	Rectificado exterior de G	30
3 < 4,5	Ensamble de D con G y H	13
3 < 4 < 6	Soldado de extremo izq. De H a D	22
3 < 5 < 6	Soldado de extremo der. De H a D	22
4,5 < 6 < 7	Ajuste y control	30
6 < 7	Empaque	15

$$\sum T_{std} = 147 \frac{\text{seg} \times \text{Homb}}{u}$$

ALGORITMOS DE RESOLUCIÓN

Algoritmo de Helgeson & Birnie: La técnica de ordenadores de las posiciones ponderadas aplicada al balanceo de la línea para el montaje de la rueda ABCDEF implica:

Paso 1: Presentación del grafo de precedencias:



Paso 2: Cálculo de la cadencia ideal:

$$T'_c = \frac{224 \text{ seg.} \times \text{Homb.} / u}{5 \text{ Homb.}} = 44.8 \text{ seg.} / u$$

El balanceo de líneas puede ser efectuado partiendo del hecho de disponer de un número de operarios, como es el caso modelo, estando ya definido entonces el número de estaciones (N), o para satisfacer una determinada demanda horaria (D), en cuyo caso deberemos considerar que el tiempo de ciclo de cada estación debe acercarse lo más posible y sin superar a:

$$T'_c \leq \frac{\varepsilon'}{D}$$

Donde ε' es la eficiencia esperada
D es la demanda horaria.

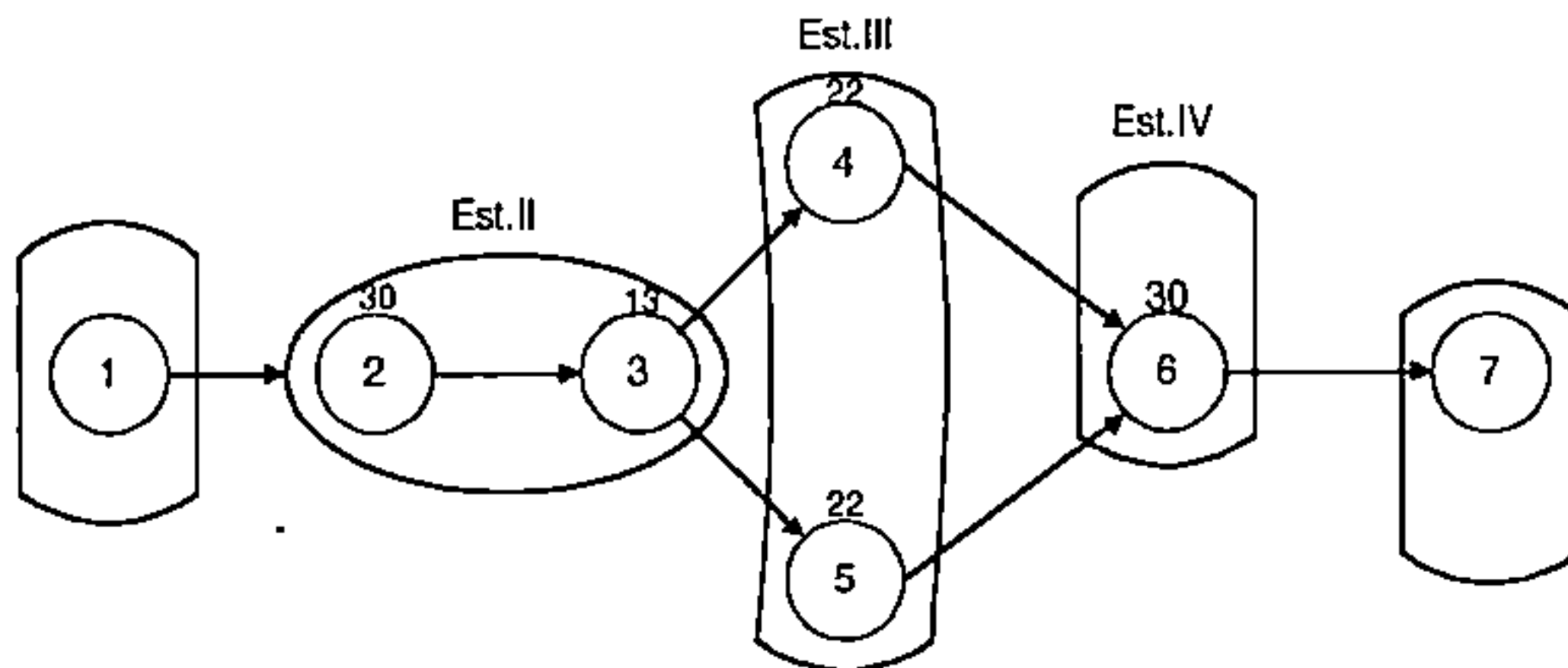
Paso 3: Ponderación de las posiciones, mediante la suma de tiempos de la operación y todas las que le siguen en el diagrama de precedencias.

Posición	Ponderación
1	102
2	102
3	180
4	165
5	90
6	125
7	120
8	80
9	67
10	45
11	15

Paso 4: Ordenamiento de mayor a menor, y agrupamiento de *posiciones* para formar *estaciones*, respetando el orden y las recedencias, aproximándonos por defecto o exceso a la cadencia ideal:

Código de precedencias	Tstd	Agrupamiento $T_{cadencia} = 44.8 \text{ seg/u}$
3 < 4 3 < 4 < 5,6	15 30	Estación I: 3,4
4 < 6 < 7 6 < 7 < 8	5 40	Estación II: 6,7
1 < 8 2 < 8	22 22	Estación III: 1,2
4 < 5 < 8 1,2,5,7 < 8 < 9 8 < 9 < 10	10 13 22	Estación IV: 5,8,9
9 < 10 < 11 10 < 11	30 15	Estación V: 10,11

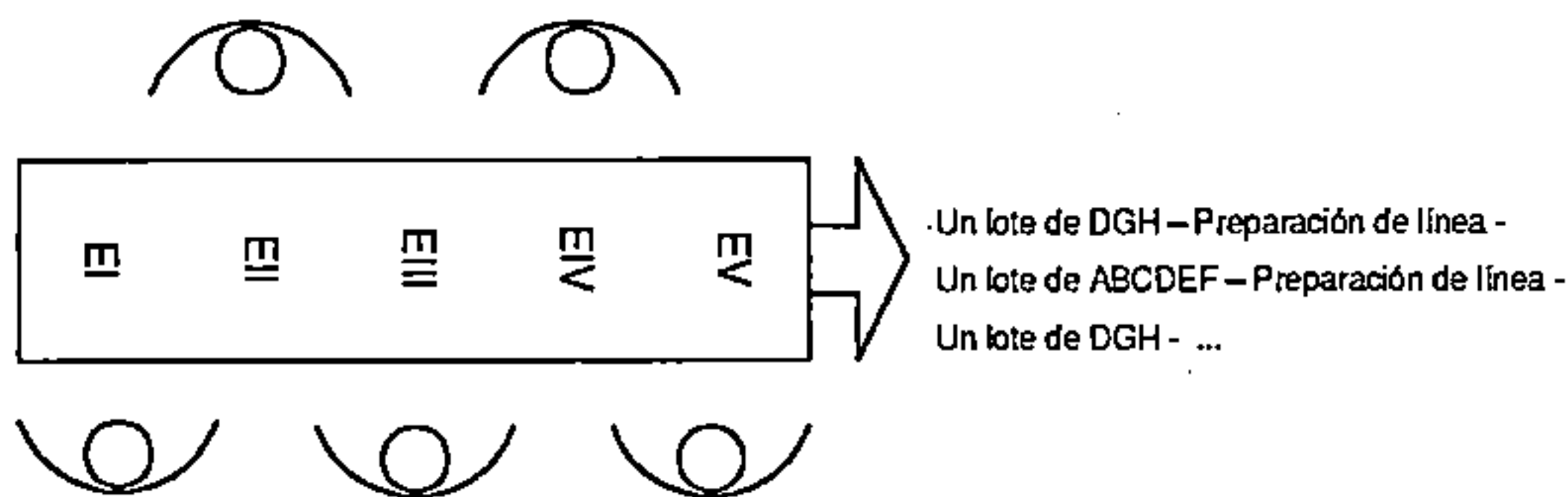
Tratándose de una *línea multiproducto*, debe hacerse también el balanceo para el montaje de la otra rueda prevista en la producción del mes, la DGH, cuyo grafo de precedencias y más conveniente agrupamiento resulta:



(Balanceo obtenido con $T_c=44$ seg. Para dar ocupación a 5 Homb.)

La cadencia la marcan para ABCDEF las estaciones I, II, IV y V con $T_c = 45$ seg. y para DGH la estación III con $T_c = 44$ seg.

En una línea multiproducto se impone la producción en lotes:



Así por ejemplo para los productos DGH el *lote económico* es dado por la fórmula de Camps:

$$EOQ \text{ (Economic Order Quantity)} = \sqrt{\frac{2KD}{bP}} = \sqrt{\frac{2 \times 37 \times 2400}{4 \times 0.021}} = 1454u / \text{lote}$$

Siendo:

K	=	Costo de preparación de línea = 37\$
D	=	Demanda = 2400 u/mes
b	=	Costo unitario del producto = 4 \$/u
P	=	Tasa de posesión de Parrish = 2.1% mensual

Por lo tanto el programa de producción será el siguiente: (en *itálicas* se indica también el resultado del control de la producción)

Sección montaje de ruedas		Horas disponibles	Eficiencia
Programa del mes		Día/mes 25 Hrs/día 7.5 Operarios 5	Esperada $\varepsilon' = 80\%$ Real $\varepsilon' = 84.3\%$
Productos	Programado Q'_{FP}	Requerido $Q'_{FE} = \varepsilon' Q'_{FP}$	Real $Q_F = \varepsilon Q'_{FP}$
DGII	3000 (dividido en 2 lotes)	2400	<i>2529</i>
ABCDEF	1200 (dividido en 2 lotes)	9600	<i>10116</i>

Lo que se solicitó fue producir, con cinco operarios, tres días DGH, diez días ABCDEF, dos días DGH y diez días ABCDEF.

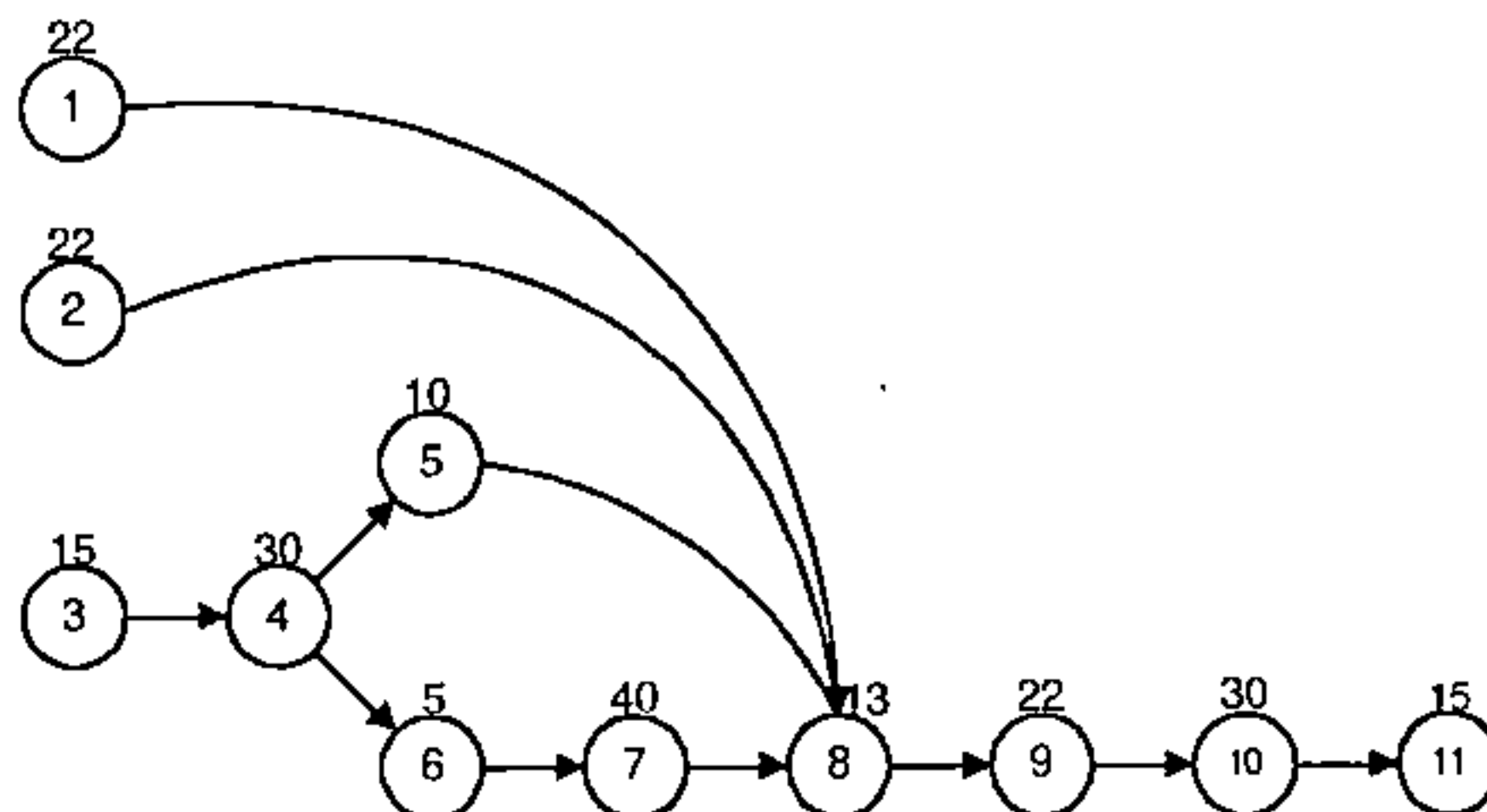
Algoritmo de A. Arcus

Es la segunda técnica de balanceo de interés, muy eficaz cuando son numerosas las operaciones elementales y particularmente útil en un ordenador.

Su aplicación al balanceo de la línea para el armado de ruedas ABCDEF tratando de satisfacer una demanda hora de 64 unidades con una eficiencia esperada del 80% es la siguiente:

Paso 1: Debiendo ser el
$$T_c \leq 45 \text{seg} / u \left(\frac{0.8}{64u/\text{Hr}} 3600 \text{seg}/\text{Hr} \right)$$

y teniendo presente el grafo de precedencias.



Se confeccionan tres listados:

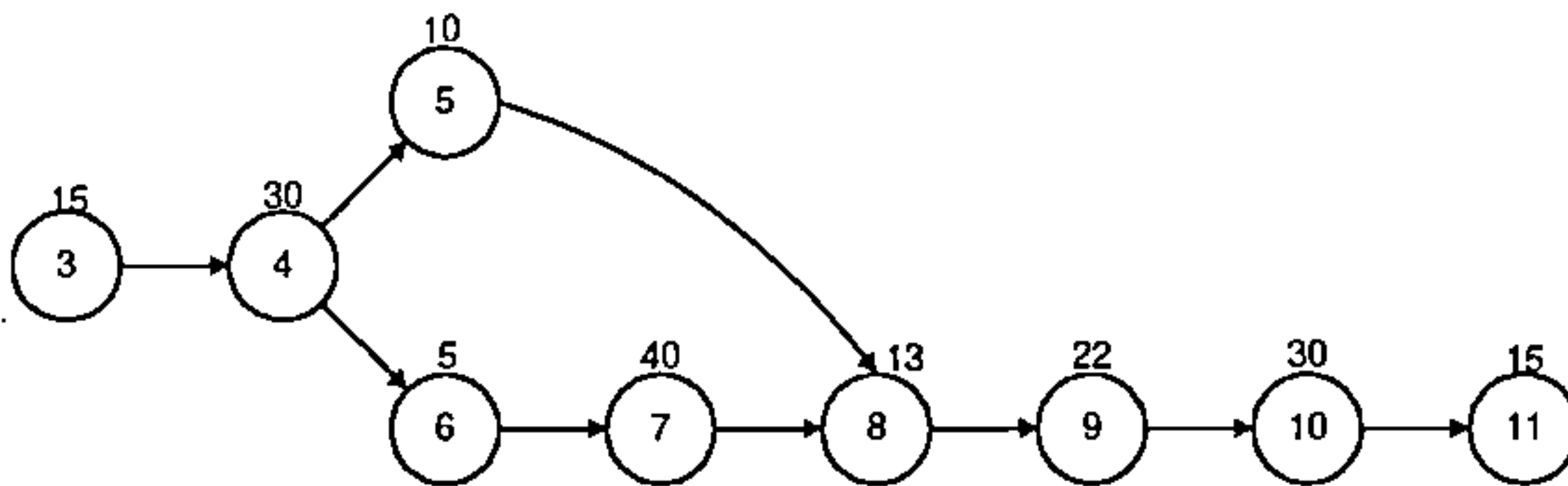
- A De actividades inmediatamente precedentes
- B De actividades disponibles (todas aquellas que tengan precedencias inmediatas O)
- C De asignación

Lista A		Lista B		Lista C	
Act.	A.I.P.	A.D.	T_{std}	Act.	$T_c \leq 45 \text{ seg}$
1	0	1	22	1	22
2	0	2	22	2	22+22
3	0	3	15		
4	1				
5	1				
6	1				
7	1				
8	4				
9	1				
10	1				
11	1				

Se cierra por no existir actividad inmediatamente en $T \leq 1 \text{ seg.}$

El (1,2)

Paso 2: Se confecciona una nueva lista A eliminando las actividades ya agrupadas.



Lista A		Lista B		Lista C	
Act.	A.I.P.	A.D.	T_{std}	Act.	$T_c \leq 45 \text{ seg}$
3	0	3	15	3	15
4	1				
5	1				
6	1				
7	1				
8	2				
9	1				
10	1				
11	1				

No se cierra por cuanto existen operaciones inmediatamente siguientes con $T \leq 30 \text{ seg.}$

El(3,

Se confecciona una nueva lista A eliminando lo ya considerado:

Lista A	
Act.	A.I.P.
4	0
5	1
6	1
7	1
8	2
9	1
10	1
11	1

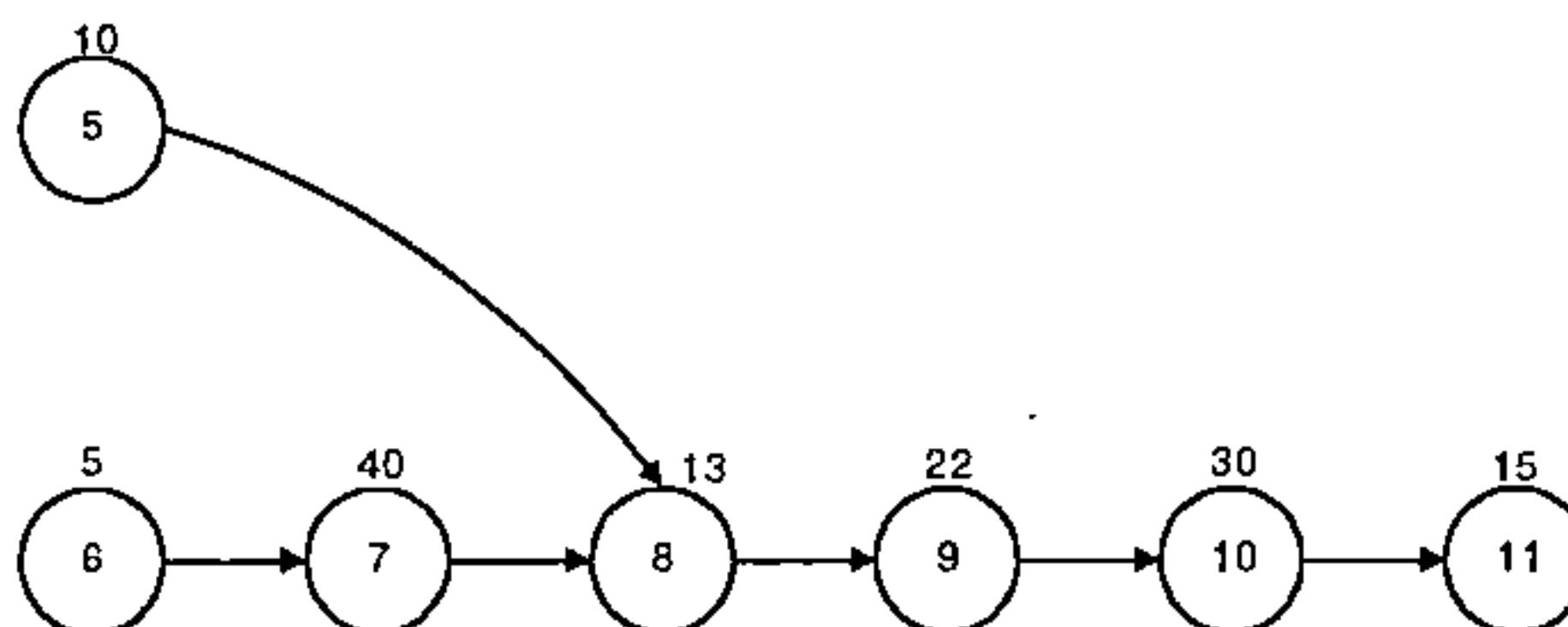
Lista B	
A.D.	T_{std}
4	30

Lista C	
Act.	$T_c \leq 45 \text{ seg}$
4	15+30

Se cierra por haberse alcanzado los 45 seg.

EII(3,4)

Paso 3: Se repite el procedimiento hasta finalizar:



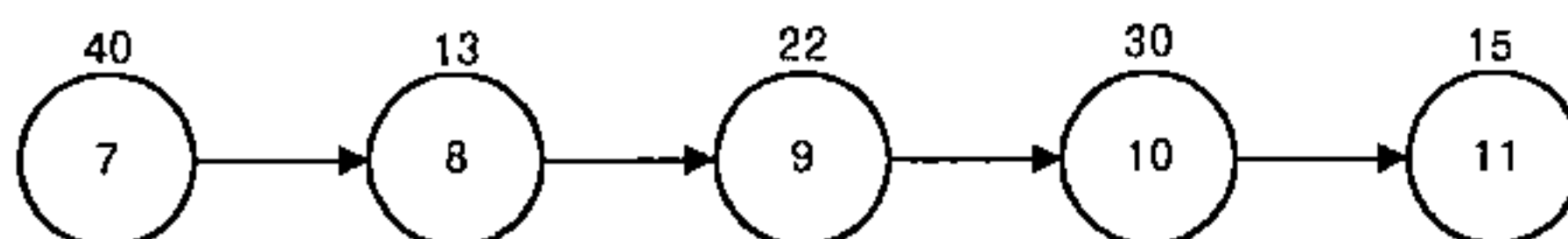
Lista A	
Act.	A.I.P.
5	0
6	0
7	1
8	2
9	1
10	1
11	1

Lista B	
A.D.	T_{std}
5	10
6	5

Lista C	
Act.	$T_c \leq 45 \text{ seg}$
5	10
6	10+5

Se cierra por cuanto la actividad 7 requiere de $T > 30$ seg.

EIII(5,6)



Lista A		Lista B		Lista C		Se cierra por que la activi- dad 8 requiere de $T > 5$ seg.
Act.	A.I.P.	A.D.	T_{std}	Act.	$T_c \leq 45$ seg	
7	0	7	40	7	40	
8	1					
9	1					
10	1					
11	1					

EIV(7)

y así sucesivamente, pudiendo simplificarse la asignación con la confección paso a paso de la siguiente tabla, teniendo al frente el grafo de precedencias y tarjando sobre el mismo los vectores que parten de posiciones asignadas.

$T_c \leq 45$ seg

		45	23	45	30	45	35	45	45	32	45	
1	22	0										E I (1
2	22	0	0									E I (1.2) TM = 1 seg
3	15	0	0	0								E II (3
4	30	1	1	1	0							E II (3.4) TM = 0 seg
5	10	1	1	1	1	0						E III (5
6	5	1	1	1	1	1	0					E III (5.6) TM = 30 seg
7	40	1	1	1	1	1	1	0				E IV (7) TM = 5 seg
8	13	4	3	2	2	2	1	1	0			E V (8
9	22	1	1	1	1	1	1	1	1	0		E V (8.9) TM = 10 seg
10	30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	E VI (10
11	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0 E VI (10.11) TM = 0 seg

Siendo TM = tiempo muerto

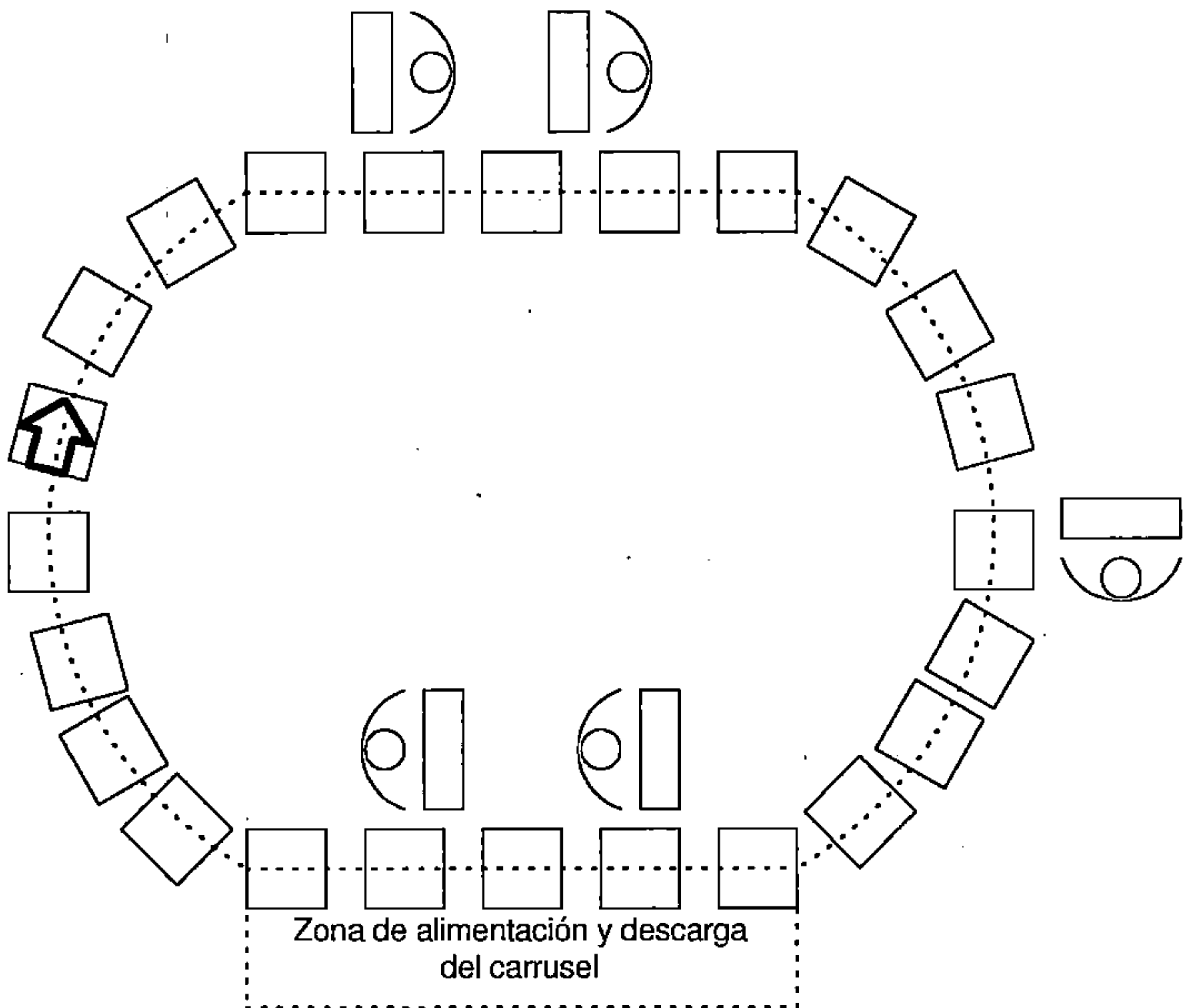
Se observa que en la técnica de Helgeson con $N = 5$ estaciones $T_c = 45$ seg, mientras que con la técnica de Arcus para $T_c = 45$ seg. han resultado $N = 6$ estaciones (se está trabajando con técnicas heurísticas con resultados no siempre coincidentes y de ahí la razón de la existencia de varias técnicas de balanceo).

Para perfeccionar el balanceo de línea, es necesario recordar que:

- Los tiempos elementales pueden reducirse con ayuda de la tecnología y la mejora de los métodos de trabajo.
- El colocar en paralelo X posiciones j para la realización de la misma operación produce el efecto conjunto de reducir aparentemente el tiempo a T_{std}/X .

- c. Hacer que una posición j trabaje tres turnos equivale a colocar en paralelo tres posiciones j. También se puede recurrir al sobretiempo para balancear una estación que ocasione atascos.
- d. La ubicación en las estaciones "cuello de botella" de los mejores operarios (habilidad-constancia-esfuerzo) puede ser también de ayuda.
- e. Mediante el uso de ciertos artificios como el de cadenas transportadoras, transformadas en verdaderos carruseles como el observable en la fotografía y dibujo, se puede obviar el respeto a las precedencias en el balanceo.





Confiabilidad de una línea

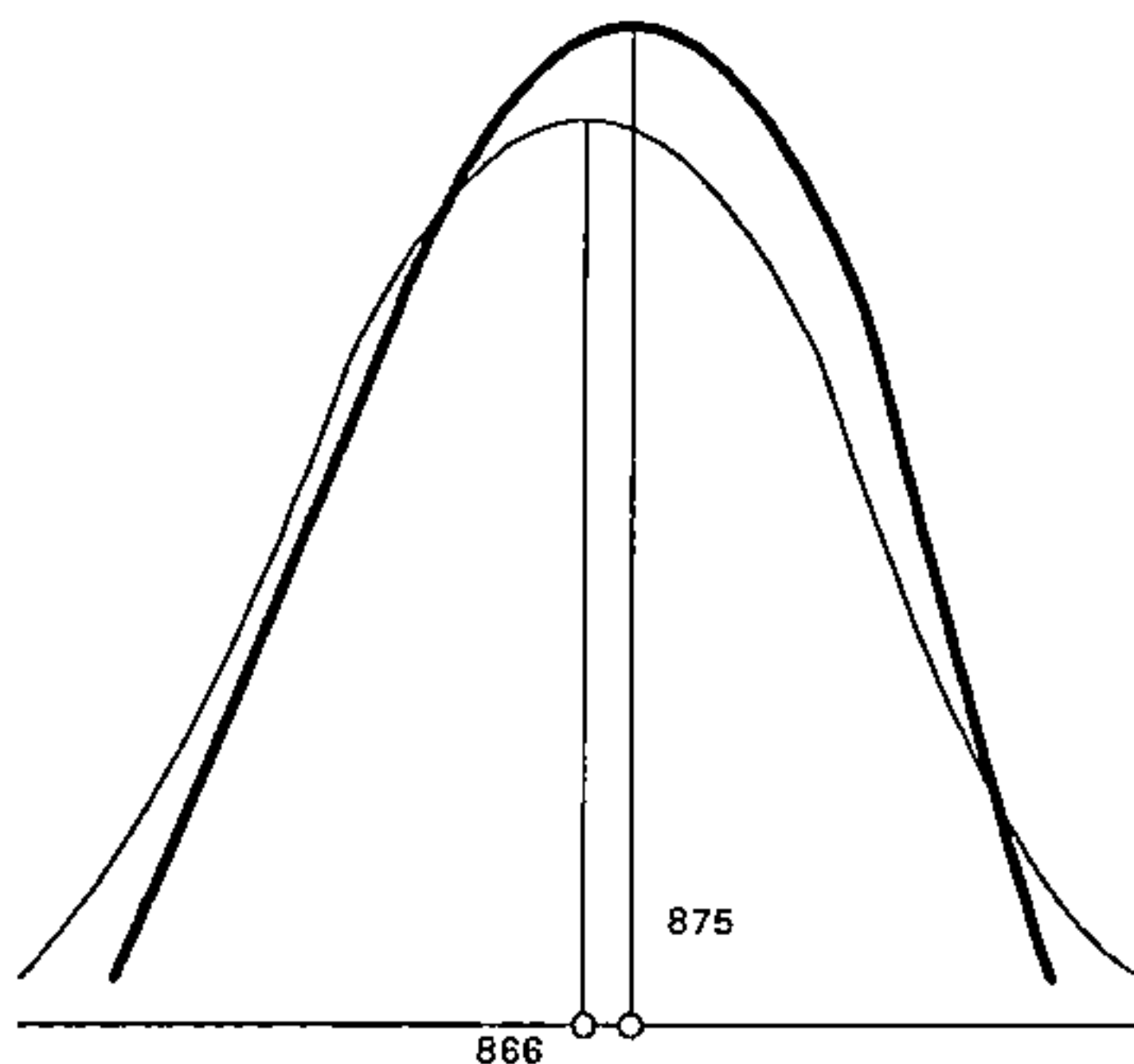
Utilización	En líneas multiproductos, como la de montaje de ruedas, que deben, según lo establezca el programa mensual, producir las variedades y cantidades definidas, sin otras limitaciones que las horas-línea disponibles y los <i>economic order quantity</i>, el balanceo, que debe realizarse toda vez que se hace un cambio, es frecuente. El costo del cambio K (también llamado de preparación de línea o de lanzamiento de la producción de otro artículo) es alto, por labor y lucro cesante, ya que se requiere un cierto tiempo para mover materiales y reubicar equipos. Cuando para cada artículo se diseña una línea para la producción continua o de grandes series de un determinado producto, surge el problema de su confiabilidad, al tratar de <i>satisfacer una demanda variable con una línea que no produce cantidades constantes</i> por paros industriales o mermas.
Teoría	Teoría de la confiabilidad.
Bibliografía	Diversos autores. <i>Métodos estadísticos</i> .
Modelo práctico	Una empresa industrial dedicada a la producción de artefactos de la "línea blanca", para el hogar, posee una línea de montaje dedicada exclusivamente al ensamble de congeladoras verticales de 10 pies ³ de capacidad.

La línea que fue diseñada mediante un balanceo para satisfacer una demanda de 900 unidades semanales, ha producido realmente en los últimos tres meses $\bar{Q} \pm S_Q = 875 \pm 89$ unidades/semana, mientras que la demanda ha sido de $\bar{C} \pm S_C = 866 \pm 112$ unidades.

Se pregunta cuál es el nivel de confianza que tendrá ventas de satisfacer la demanda con la producción semanal y cómo se podría aumentar la confiabilidad de satisfacerla evitando un stock excesivo (aplicación del *Just in Time*).

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se representa la distribución de demanda (C) y producción (Q) semanal



Paso 2: Se calcula el nivel de confianza (NC) con la fórmula de Kapur:

$$NC = 1 - F\left[-\frac{\bar{Q} - \bar{C}}{\sqrt{S_Q^2 + S_C^2}}\right]$$

$$NC = 1 - F\left[-\frac{875 - 866}{\sqrt{112^2 + 89^2}}\right] = 1 - F(-0.063) = 1 - 0.4749^* = 52.5\%$$

Paso 3: Para aumentar la confiabilidad se deberá:

1. Contar en el almacén de productos terminados con un stock de protección (S) calculado económicamente, considerando costos de agotamiento y posesión.
2. Eliminar causales de improductividad que reducen $\bar{Q}$ y elevan S_Q .
3. Esforzarse por mantener el inventario con la producción semanal, recurriendo incluso a los sobretiempos e incentivos.

$$Z = \bar{C} + S$$

* Ingresando a la tabla de distribución normal con $z = -0.063$ se obtiene $F(z) = 0.4749$.

4. Rediseñar la línea si $\bar{Q}$
resultase menor que $\bar{C}$

Si la eficiencia esperada —eficiencia promedio— fuese 80%, la línea debería estar balanceada para satisfacer la demanda

$\bar{C} = 866$ u/semana, produciendo una unidad cada 2 1/2 minuto (operando la línea en un turno de 7.5 horas laborales, 6 días/semana):

$$T_0 = \frac{\varepsilon'}{\bar{C}} = \frac{0.80}{866 \text{ u/s}} 2700 \text{ minutos / s} = 2.49 \text{ minutos / u}$$

Si se dispusiese de un stock de protección económicamente excesivo de $S = 3.5 S_C = 392$ unidades y los recursos necesarios para satisfacer una demanda violenta de $Z = C + S = 1258$ u/semana, con una cadencia de balanceo de una unidad cada 1.75 minutos, el nivel de confianza se aproximará a 100%.

Confección de planes y programas de ventas y producción en líneas multiproductos

Utilización	La elaboración de un plan anual de producción implica no sólo pronosticar las ventas y establecer los programas de producción de los diferentes productos, sino también calcular los recursos necesarios (dinero, máquinas, materiales y mano de obra) mes a mes. A diferencia de la producción en elaboración, donde se trabaja por el método de reposición automática de stocks a pedido de almacenes, la programación de la producción en montaje se efectúa en forma mensual, considerando los planes de ventas y los stocks existentes de productos terminados.
Teoría	Planeamiento de la producción. Teoría del pronóstico.
Bibliografía	BIEGEL, J. <i>Control de producción: Procedimiento cuantitativo</i> . 8a. edición. México: Herrero Hnos., 1978, p. 106.
Modelo práctico	Una empresa dedicada a la manufactura de artefactos para el hogar de la línea blanca produce cuatro modelos de cocinas a gas natural (propano-butano) y a gas de kerosene.

Cocina	Producto
A gas "Económica"	A
A gas "De Luxe"	B
A Kerosene "Económica"	C
A Kerosene "De Luxe"	D

Los tiempos estándar y las eficiencias seccionales para la fabricación de los distintos modelos son:

	Tstd (HH / u)				
Sección	A	B	C	D	$\bar{\varepsilon}$ (%)
Fundición	0.1	0.15	0.11	0.16	79
Máquinas.herramientas	0.11	0.15	0.12	0.16	69
Prensas y guillotinas	0.25	0.2	0.25	0.30	82
Tratamientos galvánicos	0.02	0.02	0.02	0.02	73
Enlozado y pintura	0.15	0.25	0.15	0.25	51
Montaje	0.80	1.00	0.80	1.00	82.6
$\sum Tstd$	1.43	1.77	1.45	1.89	
$\sum T esp (^{\circ})$	1.88	2.38	1.91	2.53	

* Considera $\bar{\varepsilon}$

Las ventas históricas de los últimos cinco años (incluyendo las del año k que finaliza) fueron las siguientes:

	SD _j (u/año)			
Año (i)	A	B	C	D
K-4	3800	2700	7500	6800
K-3	4300	3100	6100	6200
K-2	4900	3600	4750	5500
K-1	5600	4100	4050	4550
K	6200	4900	3050	3550

La contribución de la demanda mensual a la demanda anual durante el lapso de los cinco años considerados fue:

Mes (i)	$\bar{R}_i(\%)$ (Contribución de la demanda mensual a la demanda anual)			
	A	B	C	D
Enero	3.52	3.52	4.00	6.25
Febrero	3.52	7.14	4.00	6.25
Marzo	7.04	7.14	8.00	6.25
Abril	9.86	8.93	8.00	6.25
Mayo	9.86	5.36	8.00	6.25
Junio	9.86	5.36	8.00	6.25
Julio	12.68	12.50	12.00	15.62
Agosto	12.68	12.50	8.00	9.38
Setiembre	7.04	7.14	8.00	9.38
Octubre	7.04	7.14	8.00	6.25
Noviembre	2.82	7.14	8.00	6.25
Diciembre	14.08	16.08	16.00	15.62
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Al finalizar el año en curso K, los stocks de cocinas (S_i) serán aproximadamente los siguientes:

Producto	A	B	C	D
$S_f(u)$	700	300	600	400

En la línea de montaje de cocinas laboran ocho operarios, seis días/semana, un/turno/día y siete y media/horas/turno.

Siendo política de la empresa mantener para cada producto un stock de protección (S_s) equivalente a las ventas pronosticadas del mes siguiente, se desea establecer para el año que se inicia ($K + 1$):

1. El plan de ventas de cocinas
2. El requerimiento de personal de la línea de montaje
3. El rol anual de vacaciones
4. El programa de producción

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Consistió en el cálculo de la contribución de la demanda mensual a la demanda anual mediante la expresión:

$$\bar{R}_i(\%) = \frac{\sum_{j=k-4}^k D_{i,j}}{\sum_{j=k-4}^k SD_j} \times 100$$

donde:

$D_{i,j}$ demanda del mes i , en el año j

SD_j demanda del año j

R_i contribución porcentual de la demanda del mes i a la demanda anual

Paso 2: Se efectúa la proyección de la demanda para el año que se inicia ($K + 1$) a partir de las ventas históricas de los últimos cinco años, observando que las tendencias de ventas son exponenciales $y=ab^x$, crecientes para las cocinas a gas natural y decrecientes para las cocinas a gas de kerosene.

j	Año	SD _j (u/año)			
		A	B	C	D
1	K-4	3800	2700	7500	6800
2	K-3	4300	3100	6100	6200
3	K-2	4900	3600	4750	5500
4	K-1	5609	4100	4050	4550
5	K	6200	4900	3050	3550
6	K+1	7100	5600	2500	3200
		$SD_j = 3363 \times 1.113^j$	$SD_j = 2316 \times 1.158^j$	$SD_j = 9410 \times 0.801^j$	$SD_j = 8402 \times 0.851^j$

Paso 3: Se prepara el *plan de ventas* para el año que se inicia $SD_{(K+1)}$, a partir de la contribución de la demanda mensual a la demanda anual obtenida en el paso 1, considerando las ventas pronosticadas para el año $k+1$ del paso 2.

Mes (j)	$D'_{j,K+1}$ (u/mes)			
	A	B	C	D
Enero	250	200	100	200
Febrero	250	400	100	200
Marzo	500	400	200	200
Abril	700	500	200	200
Mayo	700	300	200	200
Junio	700	300	200	200
Julio	900	700	300	500
Agosto	900	700	200	300
Setiembre	500	400	200	300
Octubre	500	400	200	200
Noviembre	200	400	200	200
Diciembre	1000	900	900	500
SD_K	7100	5600	2500	3200
Enero, $K+2^*$	300	200	100	200

Paso 4: Se efectúa la *planeación agregada* preparando el plan anual de producción utilizando el juego de los stocks, considerando los stocks iniciales al 1/1 del año $K+1$ (S_i) y los stocks finales deseados correspondientes a las ventas de enero del año $K+2$ (S_f).

* Ventas pronosticadas para $D_{1,K+2}$, predicción necesaria para definir el S_f

donde: S_i = stock inicial al 1/1 del año K+1
 SD_{K+1} = ventas planeadas para el año K+1
 S_f = stock final deseado al 31/12 año K+1
 SQ_{K+1} = $SD_{K+1} + S_f - S_i$ Cantidad a fabricar en el año K+1

Paso 5: Se calculan las horas disponibles de cada mes del año K+1, considerando únicamente los días laborables del año trabajando 1 turno de 7.5 horas.

j, K+1	días laborales	H_d (H/mes)
Enero	26	195
Febrero	24	180
Marzo	25.67	192.5
Abril	25	187.5
Mayo	26	195
Junio	24.67	185
Julio	24	180
Agosto	26	195
Setiembre	26	195
Octubre	26	195
Noviembre	25	187.5
Diciembre	24	180
Total	302.34	2,267.5 H/año

Paso 6: Se calcula el requerimiento de personal de la línea de montaje para el año que se inicia (K+1) sabiendo que la eficiencia esperada es de 82.6%.

$$N = \frac{\sum T_{std} \times SQ'}{\bar{\epsilon} H_d} = \frac{6700 \times 0.8 \times 5500 \times 1.0 + 2000 \times 0.8 + 3000 \times 1.0}{0.826 \times 2267.5 \times \frac{11^*}{12}} = 9 \text{ operarios}$$

* Reducción de las horas disponibles por vacaciones de los operarios

donde: N # operarios requeridos
 SQ cantidad a fabricar de cada producto
 H_d horas disponibles
 $\bar{e}$ eficiencia esperada considerando factor de uso de la línea y rendimiento medio de los operarios.

Paso 7: Se establece un *programa tentativo de producción mensual de la línea de montaje*¹ para el año que se inicia (K+1), el plan de ventas² y el stock existente, comenzando con la producción del mes de diciembre (D_{1,K+2}) y retrocediendo (programación hacia atrás, "backward scheduling").

	A	Prod. Acum.	B	Prod. Acum.	C	Prod. Acum.	D	Prod. Acum.
D	300	300	200	200	100	100	200	200
N	100	1300	900	1100	400	500	500	700
O	200	1500	400	1500	200	700	200	900
S	500	2000	400	1900	200	900	200	1100
A	500	2500	400	2300	200	1100	300	1400
J	900	3400	700	3000	200	1300	300	1700
J	900	4300	700	3700	300	1600	500	2200
M	700	5000	300	4000	200	1800	200	2400
A	700	5700	300	4300	200	2000	200	2600
M	700	6400	500	4800	-	-	200	2800
F	500	6900	400	5200	-	-	200	3000
E	-	-	300	5500	-	-	-	-

1 Únicamente las secciones Enlozado y Pintura, y Montaje, trabajan con programación mensual.

2 Las horas necesarias para la producción de un mes corresponden a las ventas planeadas del mes siguiente. Las horas posibles se calculan así: $H_d \times N \times \bar{e}$

Paso 8: Se confecciona una tabla de horas posibles y horas necesarias considerando a los nueve operarios que se ha dispuesto utilizar, horas disponibles y eficiencia esperada para las primeras, y producción programada y tiempos estándar de montaje para las segundas, resultando el "rol de vacaciones".

Mes (i)	HH posibles	HH necesarias	Personal de vacaciones	HH dispuestas
D	1338	720	5	595
N	1394	2520		1394
O	1450	920		1450
S	1450	1160		1450
A	1450	1260		1450
J	1338	1880		1838
J	1375	2160		1375
M	1450	1220		1450
A	1394	1220		1394
M	1431	1260	4	1431
F	1338	840		1338
E	1450	300		805

Paso 9: Considerando los costos de posesión se establece la prioridad de producción de los cuatro artículos para efectos, en caso de ser necesario, de adelantarla en el mes precedente.

Producto	C_{pose} (c/u.día)
A	17
C	21
D	34
B	38

Paso 10: Se confecciona el programa final de producción anual de la línea de montaje, el denominado Programa Maestro de Fabricación (MPS, Manufacturing Production Schedule):

		B		D		C		A	
HH _d		u	HH _n	u	HH _n	u	HH _n	u	HH _n
D	595	200	200	200	200	100	80	300-156	115
N	1304	900	900	500-6	494	400-400	0	1000+156-1156	0
O	1450	400	400	200+6	206	200+400	480	200+1156-901	364
S	1450	400	400	200	200	200	160	500+901-539	690
A	1450	400	400	300	300	200	160	500+539-302	590
J	1838	700	700	300	300	200	160	900+302-355	678
J	1375	700	700	500	500	300-81	175	900+355-1255	0
M	1450	300	300	200	200	200+81	225	700+1255-1049	725
A	1394	300	300	200	200	200	160	700+1049-832	734
M	1431	500	500	200	200	-	0	700+832-618	731
F	1338	400	400	200	200	-	0	300+618	734
E	805	300	300	-	0	-	0	-	0
Σ	15970	5500	5500	3000	3000	2000		6700	5361

Que en definitiva es el siguiente:

	A (u)	B (u)	C (u)	D (u)
E	-	300	-	-
F	918	400	-	200
M	914	500	-	200
A	917	300	200	200
M	906	300	281	200
J	-	700	219	500
J	847	700	200	300
A	737	400	200	300
S	862	400	200	200
O	455	400	600	206
N	-	900	-	494
D	144	200	100	200
SQ' _{K+1}	6700	5500	2000	3000

Plan anual de ventas, regresión múltiple

Utilización	La venta de un producto es una función de más de dos variables. Detectadas estas variables y llevadas sus estadísticas es posible establecer, en base a parámetros y políticas, un plan anual de ventas y producción con un alto nivel de confianza y pequeño margen de error, mediante el método de regresión múltiple.
Teoría	Teoría del pronóstico, regresión múltiple.
Bibliografía	Autores varios. <i>Inferencia estadística</i> .
Modelo práctico	Una empresa se dedica a la producción de planchas lisas de 4' x 8' x 4mm de un conglomerado prensado ventajoso en ciertas condiciones frente al triplay, que vendido alrededor de 0.30 \$/pie ² atrae una demanda satisfactoria aunque limitada en volumen. La planta está en condiciones de producir hasta 600 mil planchas trimestralmente.

Se ha observado que la relación precio del conglomerado/precio del triplay (pc/pt) influye notablemente en la demanda, siendo esto también función del PBI de la región y el plazo promedio de los créditos concedidos (ppcc) en las operaciones de ventas.

Adicionalmente se ha averiguado que la tasa de crecimiento demográfico (cd) es $t = 7.4\%$ trimestral.

Haciendo uso de la información almacenada en los últimos cuatro años se desea comprobar cuán exactos habrían sido los pronósticos de ventas con $D = f(V, W, X, Y)$ donde:

- V: aumento de la demanda por crecimiento demográfico.
- W: modificación de la demanda por alteración del PBI (producto bruto interno per cápita).
- X: Variación de la demanda por plazos promedio de créditos concedidos.
- Y: alteración de la demanda por modificación de precios.

Y en base a ello establecer el *plan anual de ventas* para el año que se inicia, conocidas la tasa de crecimiento demográfico (3% anual) y las proyecciones del PBI (98) y establecidas las políticas de venta relativa a precios por pago al contado, a 30 y 60 días.

- Con conocimiento del precio del triplay 8 \$/plancha.
- Sabiendo que los activos de la empresa suman 36'000,000 \$ incluyendo un 5% para ventas a crédito, sus costos fijos son 1'025,120 \$/trimestre, y el costo variable Unitario de 0.09 \$/pie².

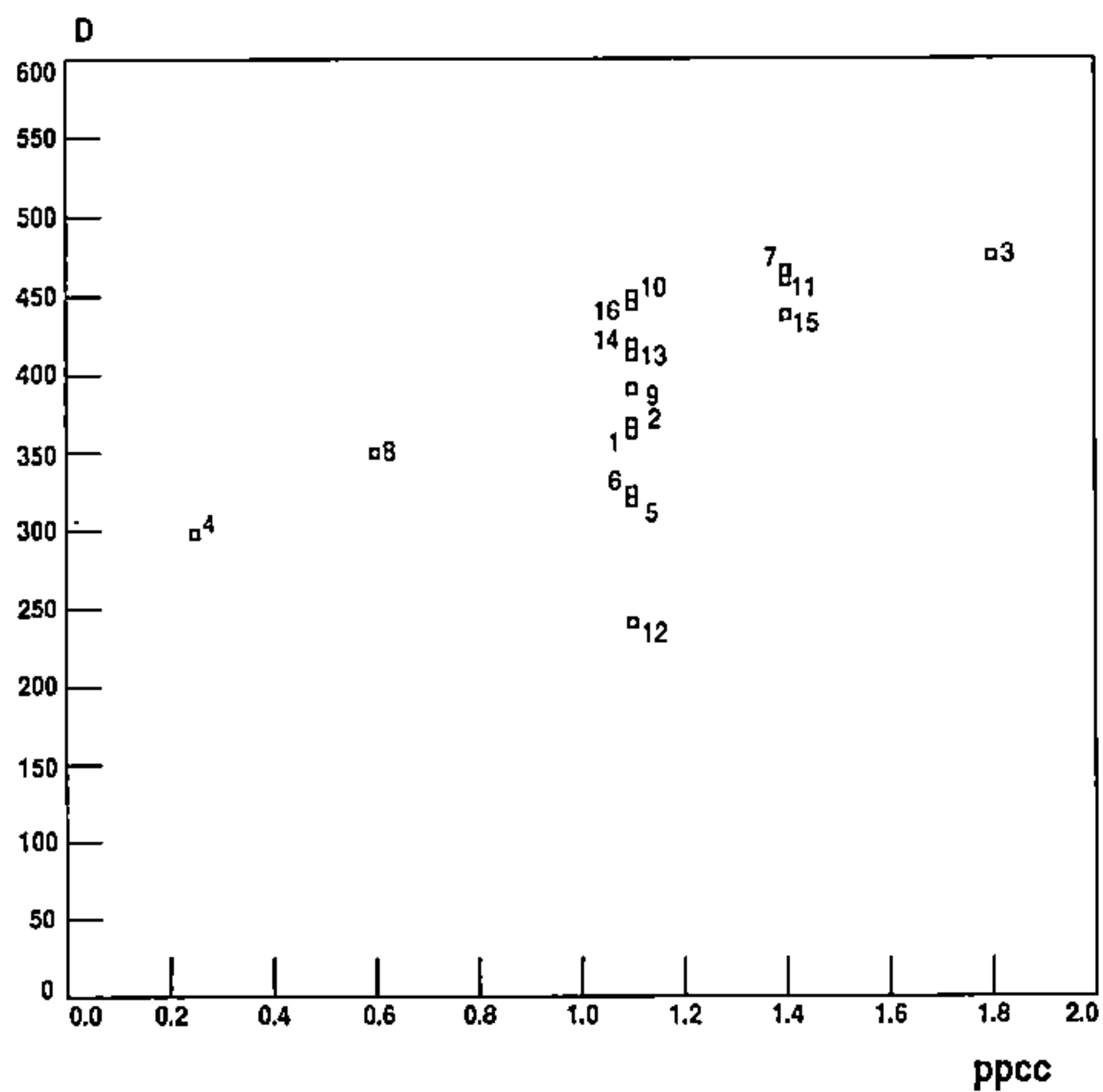
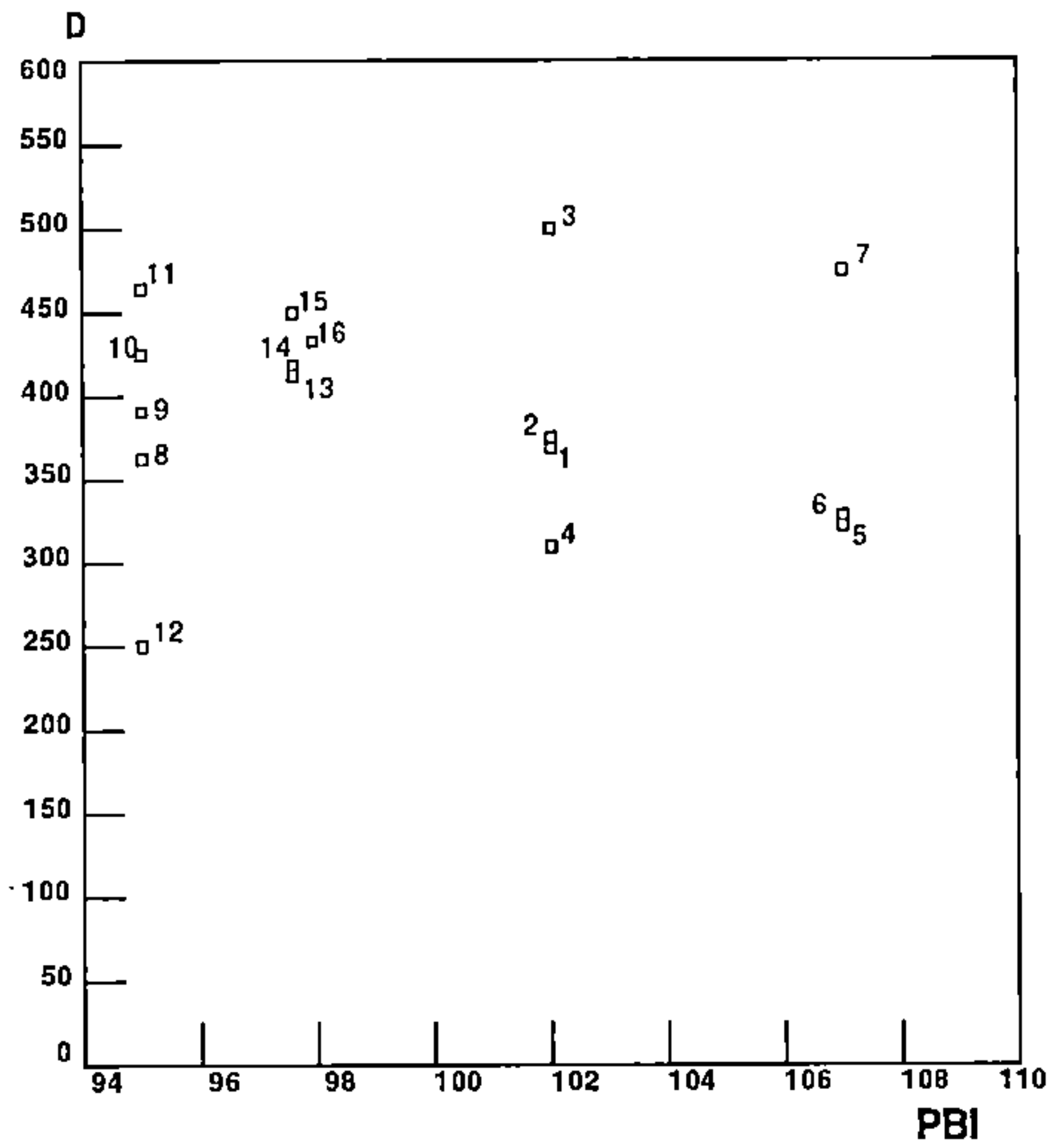
El banco de datos de los últimos 16 trimestres es el siguiente:

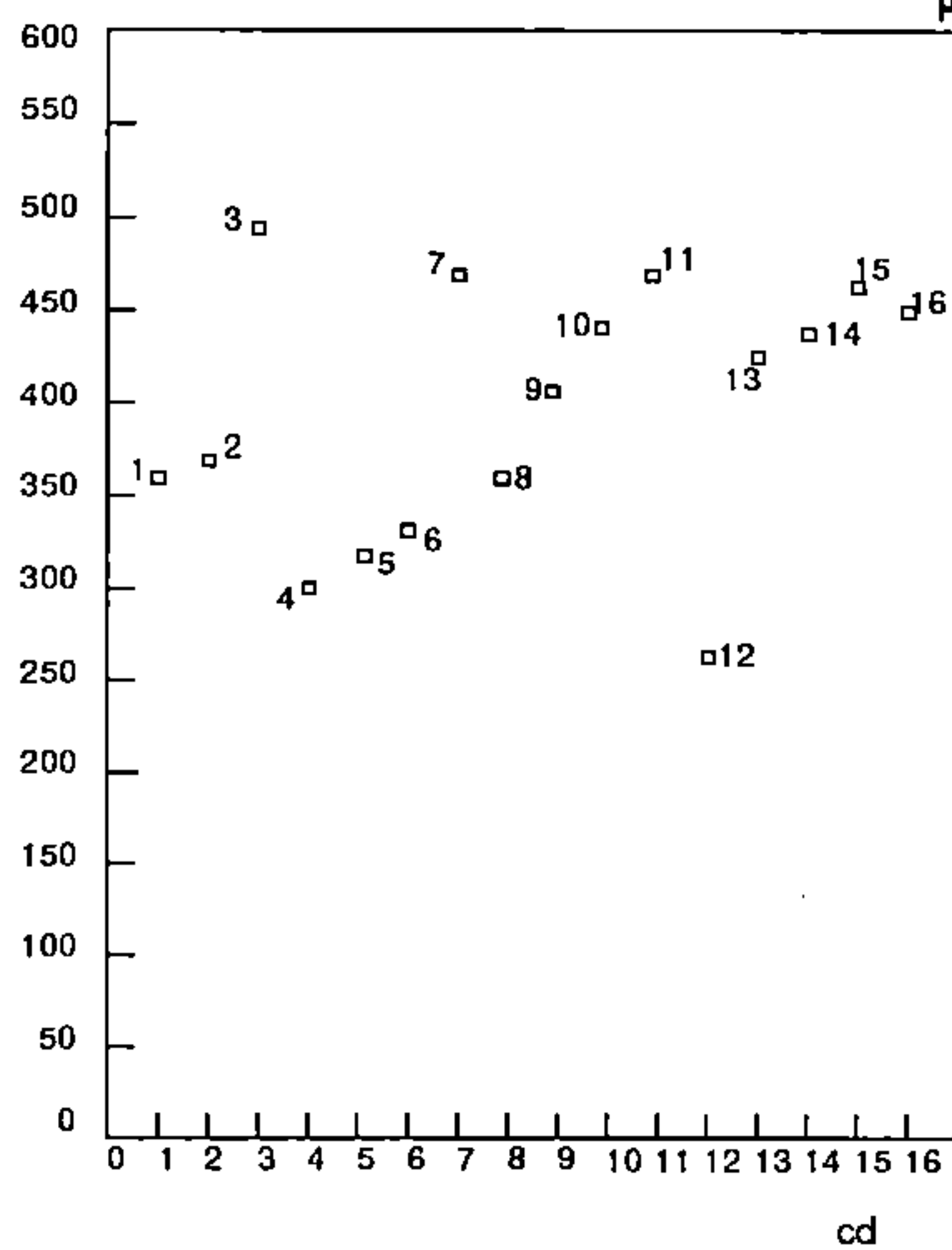
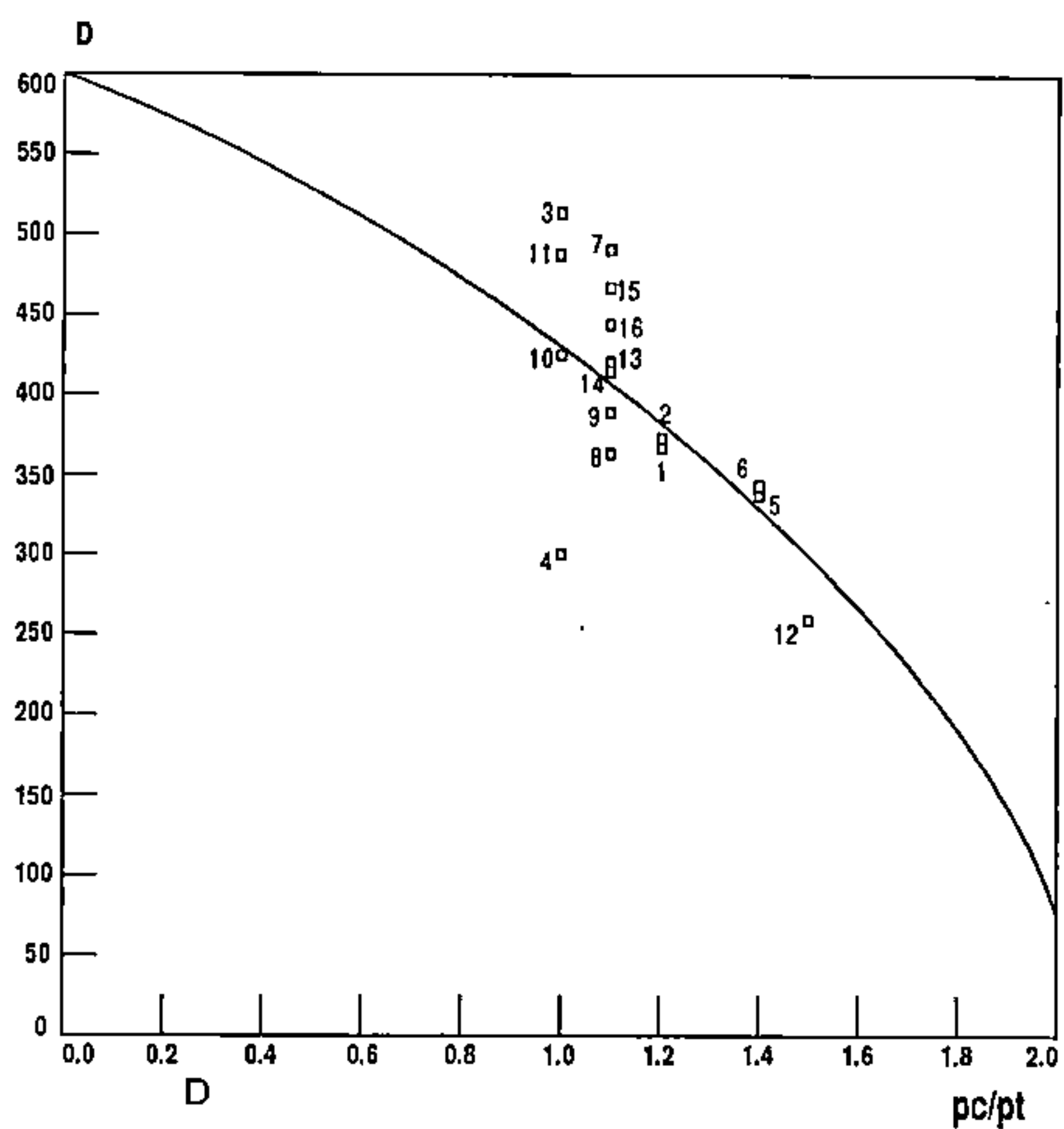
j	D (miles de planchas)	pbi	ppcc	pc/pt
1	362	102	1.1	1.2
2	365	102	1.1	1.2
3	488	102	1.8	1.0
4	300	102	0.3	1.0
5	317	107	1.1	1.4
6	320	107	1.1	1.4
7	461	107	1.4	1.1
8	356	95	0.8	1.1
9	393	95	1.1	1.1
10	429	95	1.1	1.0
11	457	95	1.4	1.0
12	248	95	1.1	1.5
13	413	97	1.1	1.1
14	416	97	1.1	1.1
15	445	97	1.4	1.1
16	476	98	1.1	1.1

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Supuestamente identificadas las variables que influyen en la demanda del conglomerado: pbi, ppcc, pc/pt y cd, se procede a graficar la demanda histórica de los cuatro años respecto a cada una de estas variables obteniendo cuatro nubes de puntos: $D = f(\text{pbi})$, $D = f(\text{ppcc})$, $D = f(\text{pc/pt})$ y $D = f(\text{cd})$.

Puede observarse que $D' = c - a (\text{pc/pt})^b$ con $b > 1$ es la curva (potencial) que mejor explica el comportamiento de dicha demanda.

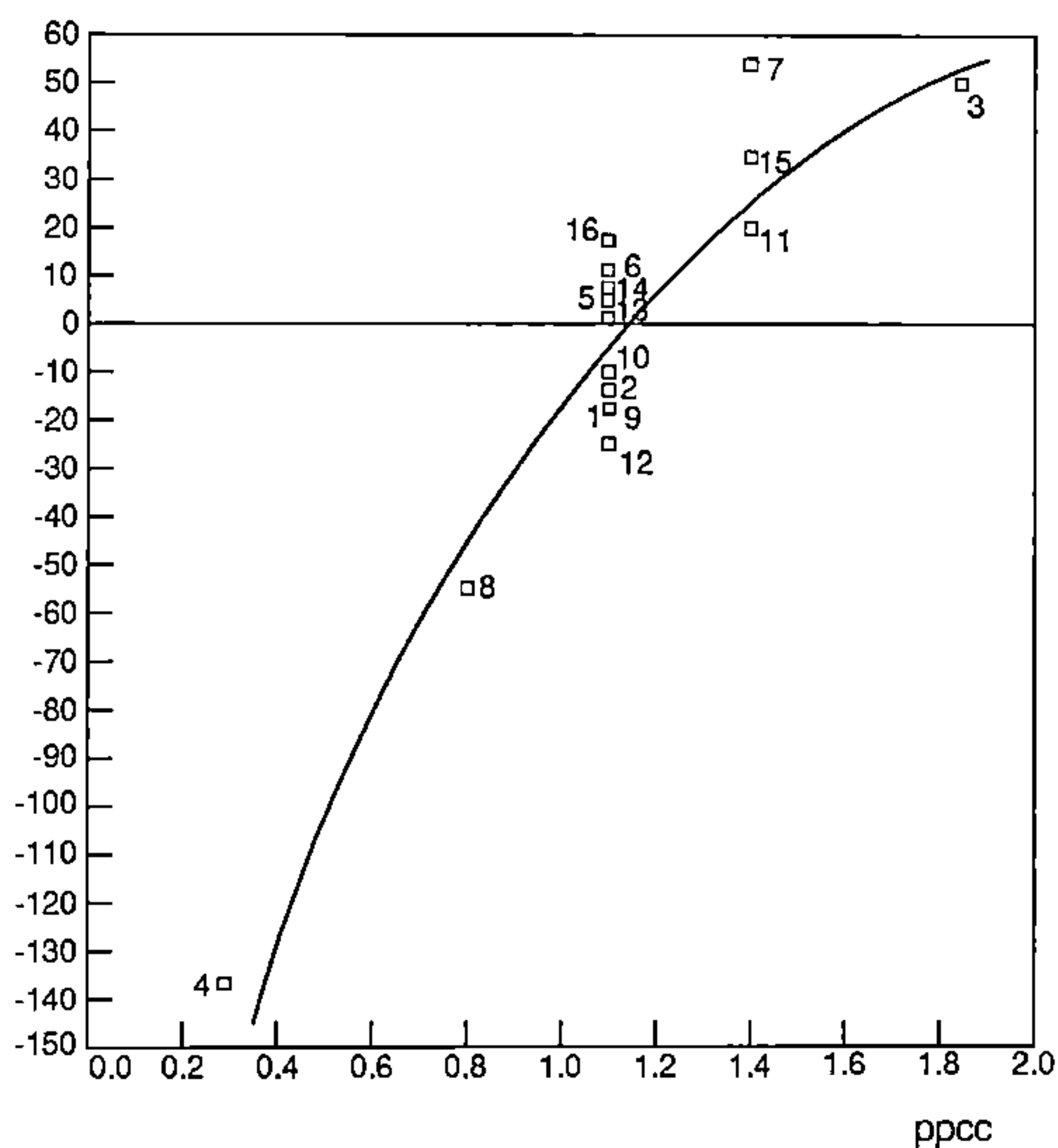




Por el método de los mínimos cuadrados se obtiene la ley de regresión y el coeficiente de Pearson (r): $D' = 600 - 161.25 (pc/pt)^{1.75}$, y 0.70, donde $c = 600$ es la capacidad instalada (si se fijase $pc = 0$, lógicamente la demanda sería $D = 600$ mil planchas... todas las producidas).

j	pc/pt	D	D'	$\Delta D = D - D'$
1	1.2	362	378.1	-16.1
2	1.2	365	378.1	-13.1
3	1	488	438.8	49.2
4	1	300	438.8	-138.8
5	1.4	317	309.4	7.6
6	1.4	320	309.4	10.6
7	1.1	461	409.5	51.5
8	1.1	356	409.5	-53.5
9	1.1	393	409.5	-16.5
10	1	429	438.8	-9.8
11	1	457	438.8	18.2
12	1.5	248	272.2	-24.2
13	1.1	413	409.5	3.5
14	1.1	416	409.5	6.5
15	1.1	445	409.5	35.5
16	1.1	426	409.5	16.5

Paso 2: Graficando la nube de puntos $\Delta D = f(pbi)$, $\Delta D = f(ppcc)$ y $\Delta D = f(cd)$ podría observarse que $\Delta D' = -a + b \ln ppcc$ es la curva que mejor explica dicha diferencia.

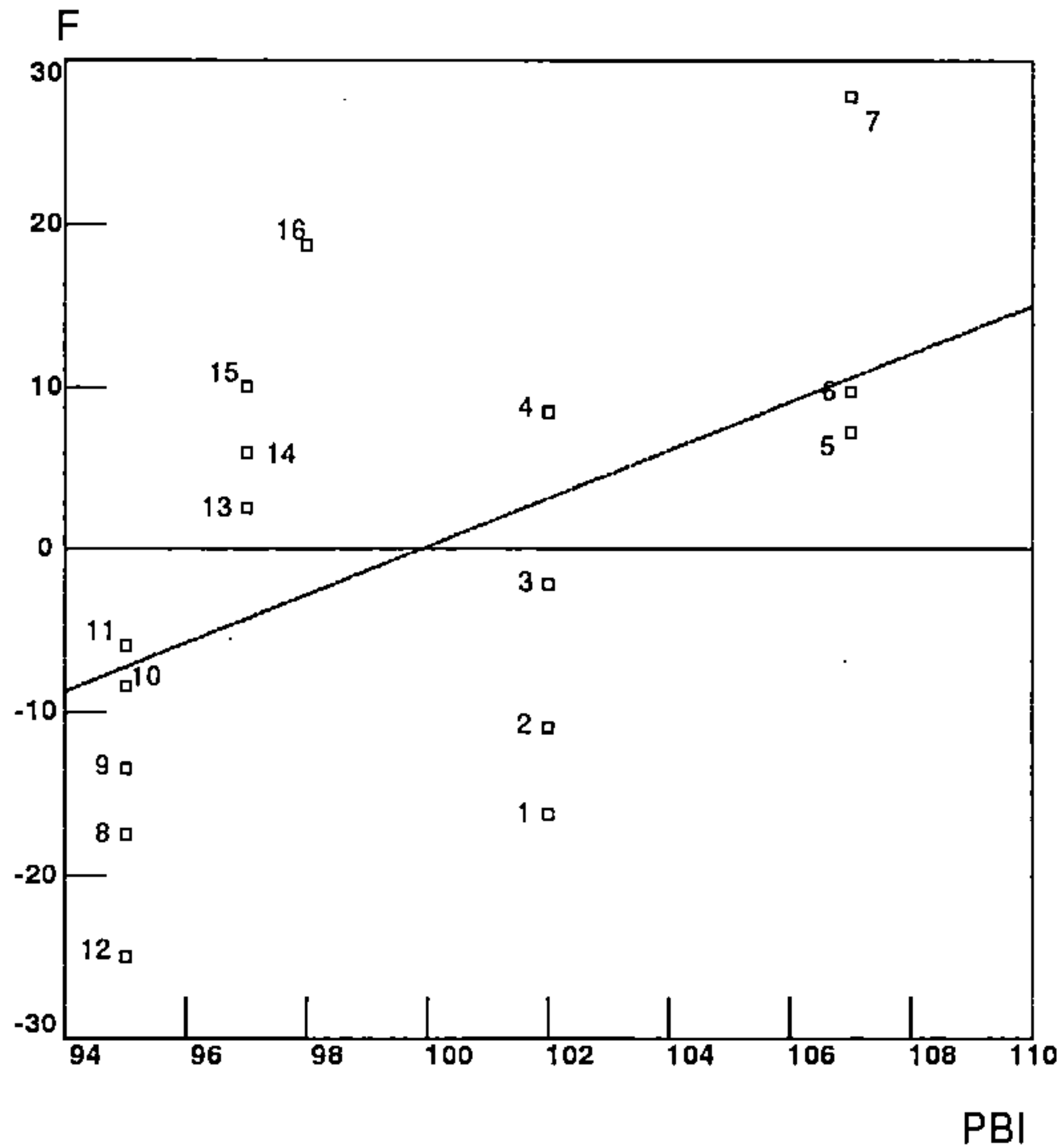


Efectivamente, por el método de los mínimos cuadrados se obtiene:

$$\Delta D' = -12.39 + 111.61 \ln ppcc \quad (r = 0.95)$$

j	ppcc	ΔD	$\Delta D'$	$F = \Delta D - \Delta D'$
1	1.1	-16.1	-1.8	-14.3
2	1.1	-13.1	-1.8	-11.3
3	1.8	49.2	53.2	-4
4	0.3	-138.8	-146.8	8
5	1.1	7.6	-1.8	9.4
6	1.1	10.6	-1.8	12.4
7	1.4	51.5	25.2	26.3
8	0.8	-52.5	-37.3	-16.2
9	1.1	-16.5	-1.8	-14.7
10	1.1	-9.8	-1.8	-8
11	1.4	18.2	25.2	-7
12	1.1	-24.2	-1.8	-22.4
13	1.1	3.5	-1.8	5.3
14	1.1	6.5	-1.8	8.3
15	1.4	35.5	25.2	10.3
16	1.1	16.5	-1.8	18.3

Paso 3: Graficando la nube de puntos $F = f(\text{pbi})$ y $F = f(\text{cd})$ podría observarse que $F' = -a + b \times \text{pbi}$ es la curva (recta) que mejor explica esta diferencia.



Efectivamente, por el método de los mínimos cuadrados se obtiene:

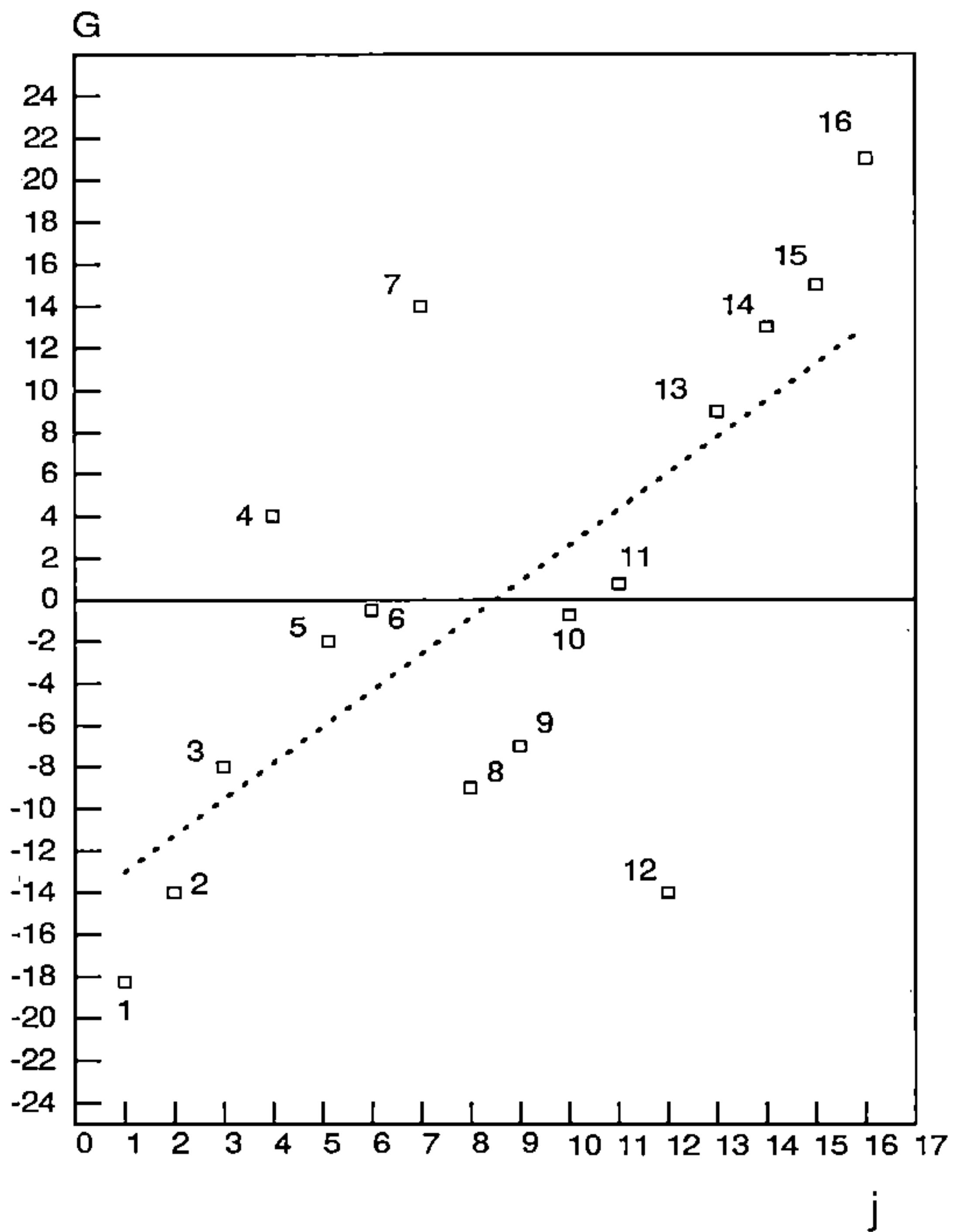
$$F' = -166.01 + 1.67 \text{ pbi} \quad (r = 0.54)$$

j	pbi	F	F'	G = F - F'
1	102	-14.3	4.3	-18.6
2	102	-11.3	4.3	-15.6
3	102	-4.0	4.3	-8.3
4	102	8.0	4.3	3.7
5	107	9.4	12.7	-6
6	107	12.4	12.7	-0.3
7	107	26.3	12.7	13.6
8	95	-16.2	-7.4	-8.8
9	95	-14.7	-7.4	-7.3
10	95	-8.0	-7.4	-0.6
11	95	-7.0	-7.4	0.4
12	95	-22.4	-7.4	-15
13	97	5.3	-4.0	9.3
14	97	8.3	-4.0	12.3
15	97	10.3	-4.0	14.3
16	98	18.3	-2.4	20.7

Paso 4: Ensayando finalmente, por el método de mínimos cuadrados:

$G' =$ $f(cd) = -a + bj$ se obtiene:

$G' =$ $-14.22 + 1.67j$ ($r = 0.67$)



j	G	G'	H = G - G'
1	-18.6	-12.8	-5.8
2	-15.6	-11.1	-4.5
3	-8.3	-9.4	1.1
4	3.7	-7.7	11.4
5	-6	-6.1	2.8
6	-0.3	-4.4	4.1
7	13.6	-2.7	16.3
8	-8.8	-1.1	-7.7
9	-7.3	0.6	-7.9
10	-0.6	2.3	-2.9
11	0.4	4.0	-3.6
12	-15	5.6	-20.6
13	9.3	7.3	2.0
14	12.3	9.0	3.3
15	14.3	10.6	3.7
16	20.7	12.3	8.4

Paso 5: Se procede a ajustar la expresión $D = 600 - a (pc/pt)^b$ sumando $D + H$, iniciando una segunda iteración:

j	pc/pt	D'	H	D' + H
1	1,2	378,1	-5,8	372,3
2	1,2	378,1	-4,5	373,6
3	1	438,8	1,1	439,9
4	1	438,8	11,4	450,2
5	1,4	309,4	2,8	312,2
6	1,4	309,4	4,1	313,5
7	1,1	409,5	16,3	425,8
8	1,1	409,5	-7,7	401,8
9	1,1	409,5	-7,9	401,6
10	1	438,8	-2,9	435,9
11	1	438,8	-3,6	435,2
12	1,5	272,2	-20,6	251,6
13	1,1	409,5	2,0	409,5
14	1,1	409,5	3,3	412,8
15	1,1	409,5	3,7	413,2
16	1,1	409,5	8,4	417,9

Resultando

$$D'' = 600 - 158.61 (\text{pc/pt})^{1.85} \quad (r = 0.99)$$

j	pc/pt	D	D''	$\Delta D = D - D''$
1	1,2	362	377,8	-15,8
2	1,2	365	377,8	-12,8
3	1	488	441,4	46,6
4	1	300	441,4	-141,4
5	1,4	317	304,4	12,6
6	1,4	320	304,4	15,6
7	1,1	461	410,8	50,2
8	1,1	356	410,8	-54,8
9	1,1	393	410,8	-17,8
10	1	429	441,4	-12,4
11	1	457	441,4	15,6
12	1,5	248	264,2	-16,2
13	1,1	413	410,8	2,2
14	1,1	416	410,8	5,2
15	1,1	445	410,8	34,2
16	1,1	426	410,8	15,2

Paso 6: Se procede a ajustar la expresión $\Delta D' = -a + b \ln \text{ppcc}$, resultando:

$$\Delta D' = -12.49 + 112.17 \ln \text{ppcc} \quad (r = 0.95)$$

j	ppcc	ΔD	$\Delta D'$	$F = \Delta D - \Delta D'$
1	1,1	-15,8	-1,8	-14,0
2	1,1	-12,8	-1,8	-11,0
3	1,8	46,6	53,4	-6,8
4	0,3	-141,4	-147,5	6,1
5	1,1	12,6	-1,8	14,4
6	1,1	15,6	-1,8	17,4
7	1,4	50,2	25,3	24,9
8	0,8	-54,8	-37,5	-17,3
9	1,1	-17,8	-1,8	-16,0
10	1,1	-12,4	-1,8	-10,6
11	1,4	15,6	25,3	-9,7
12	1,1	-16,2	-1,8	-14,4
13	1,1	2,2	-1,8	4,0
14	1,1	5,2	-1,8	7,0
15	1,4	34,2	25,3	8,9
16	1,1	15,2	-1,8	17,0

Paso 7: Se procede a ajustar la expresión $F' = -a + b \times pbi$, resultando:

$$F' = -186.49 + 1.87 \text{ pbi} \quad (r = 0.61)$$

j	pbi	F	F'	G = F - F'
1	102	-14,0	4,3	-18,3
2	102	-11,0	4,3	-15,3
3	102	-6,8	4,3	-11,1
4	102	6,1	4,3	1,8
5	107	14,4	13,6	0,8
6	107	17,4	13,6	3,8
7	107	24,9	13,6	11,3
8	95	-17,3	-8,8	-8,5
9	95	-16,0	-8,8	-7,2
10	95	-10,6	-8,8	-1,8
11	95	-9,7	-8,8	-0,9
12	95	-14,4	-8,8	-5,6
13	97	4,0	-5,1	9,1
14	97	7,0	-5,1	12,1
15	97	8,9	-5,1	14
16	98	17,0	-3,2	20,2

Paso 8: Se ajusta finalmente la expresión $G' = a + bj$, resultando:

$$G' = -14.39 + 1.73j \quad (r = 0.74)$$

j	G	G'	H = G - G'
1	-18.3	-12.7	-5.6
2	-15.3	-10.9	-4.4
3	-11.1	-9.2	-1.9
4	1.8	-7.5	9.3
5	0.8	-5.7	6.5
6	3.8	-4.0	7.8
7	11.3	-2.3	13.6
8	-8.5	-0.6	-7.9
9	-7.2	1.2	-8.4
10	-1.8	2.9	-4.7
11	-0.9	4.6	-5.5
12	-5.6	6.4	-12.0
13	9.1	8.1	1.0
14	12.1	9.8	2.3
15	14	11.6	2.4
16	20.2	13.3	6.9

Paso 9: Se procede nuevamente (por segunda vez), a ajustar la expresión $D = 600 - a(pc/pt)^b$ sumando $D'' + H$

j	pc/pt	D''	H	D'' + H
1	1.2	377.8	-5.6	372.2
2	1.2	377.8	-4.4	373.4
3	1	441.4	-1.9	439.5
4	1	441.4	9.3	450.7
5	1.4	304.4	6.5	310.9
6	1.4	304.4	7.8	312.2
7	1.1	410.8	13.6	424.4
8	1.1	410.8	-7.9	402.9
9	1.1	410.8	-8.4	402.4
10	1	441.4	-4.7	436.7
11	1	441.4	-5.5	435.9
12	1.5	264.2	-12.0	264.2
13	1.1	410.8	1.0	410.8
14	1.1	410.8	2.3	413.1
15	1.1	410.8	2.4	413.2
16	1.1	410.8	6.9	417.7

Resultando

$$D''' = 600 - 158.31 (pc/pt)^{1.86} \quad (r = 0.99)$$

Paso 10: Se observa que los valores $D'' + H$ difieren muy poco con los de la anterior iteración (paso 5), por lo que no es necesario seguir iterando.

Se procede ahora a establecer la demanda teórica a partir de las leyes que rigen a la demanda del conglomerado mediante la expresión:

$$Dt = DT_{(pc/pt)} + \Delta Dt_{(ppcc)} + \Delta Dt_{(pbi)} + + \Delta Dt_{(cd)}$$

Donde:

$$Dt_{(pc/pt)} = 600 - 158.3 (pc/pt)^{1.86}$$

$$\Delta Dt_{(ppcc)} = -12.49 + 112.17 \ln ppcc$$

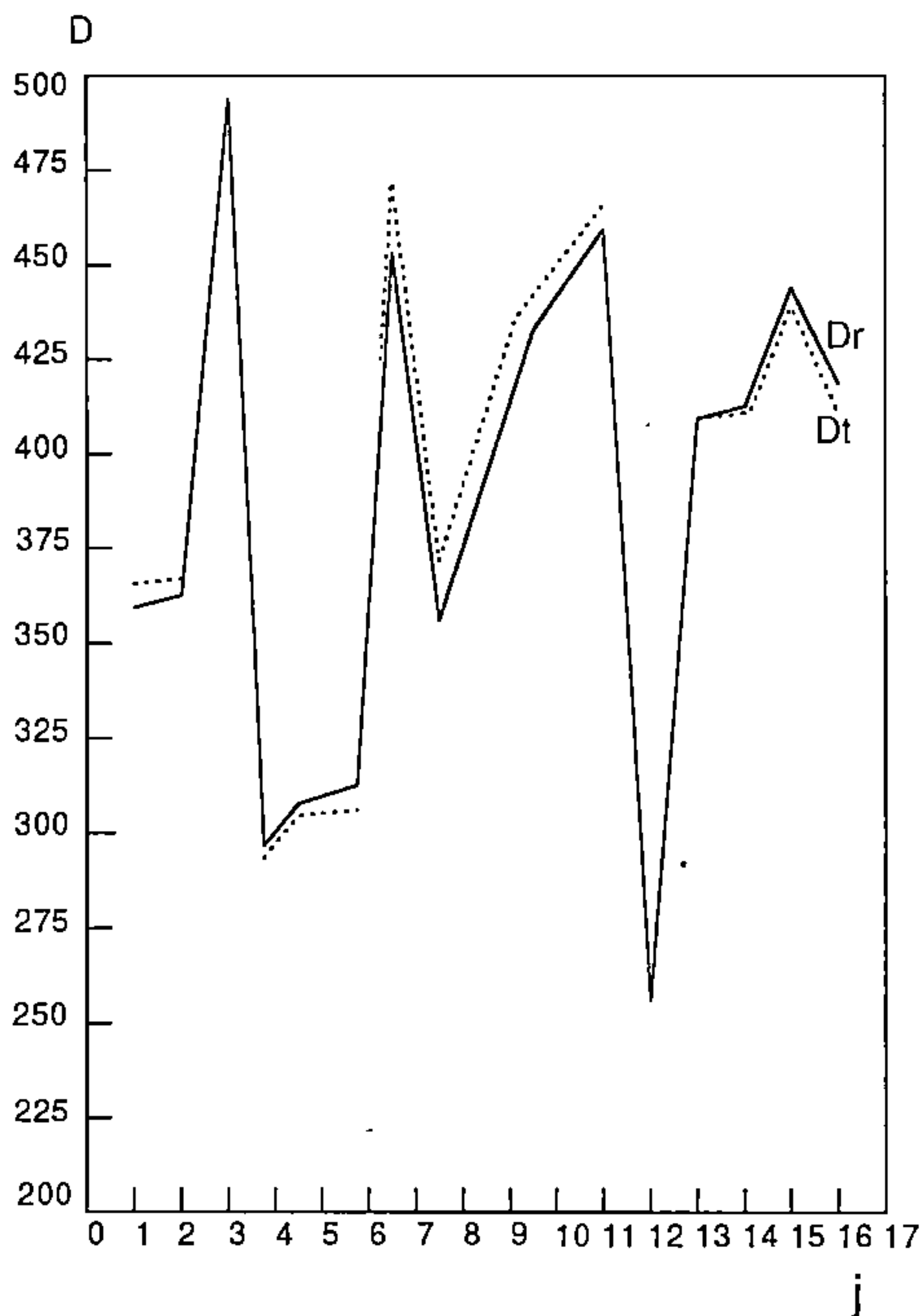
$$\Delta Dt_{(pbi)} = -186 + 1.87 pbi$$

$$\Delta Dt_{(cd)} = -14.39 + 1.73 j$$

Resultando:

	Demanda teórica Dt				
Trimestre	Dt(pc/pt)	$\Delta Dt(ppcc)$	$\Delta Dt(pbi)$	$\Delta Dt(cd)$	Dt
1	377,8	-1,8	4,3	-12,7	367,6
2	377,8	-1,8	4,3	-10,9	369,4
3	441,7	53,4	4,3	-9,2	490,2
4	441,7	-147,5	4,3	-7,5	291,0
5	304,0	-1,8	13,6	-5,7	310,1
6	304,0	-1,8	13,6	-4,0	311,8
7	411,0	25,3	13,6	-8,3	477,6
8	411,0	-37,5	-8,8	-0,6	364,1
9	411,0	-1,8	-8,8	1,2	401,6
10	441,7	-1,8	-8,8	3,9	434,0
11	441,7	25,3	-8,8	4,6	462,8
12	263,5	-1,8	-8,8	6,4	259,3
13	411,0	-1,8	-5,1	8,1	412,2
14	411,0	-1,8	-5,1	9,8	413,9
15	411,0	25,3	-5,1	11,6	442,8
16	411,0	-1,8	-3,2	13,3	419,3

Paso 11: Se procede a graficar en función del tiempo la demanda real (D_r) y la teórica (D_t) para observar que ambas prácticamente coinciden, lo que significa que la presunción $D = f(p_c/p_t, p_{pcc}, p_{bi}, c_d)$ es correcta y que las pequeñas diferencias (ε) pueden ser debido a razones fortuitas o a otras variables irrelevantes.

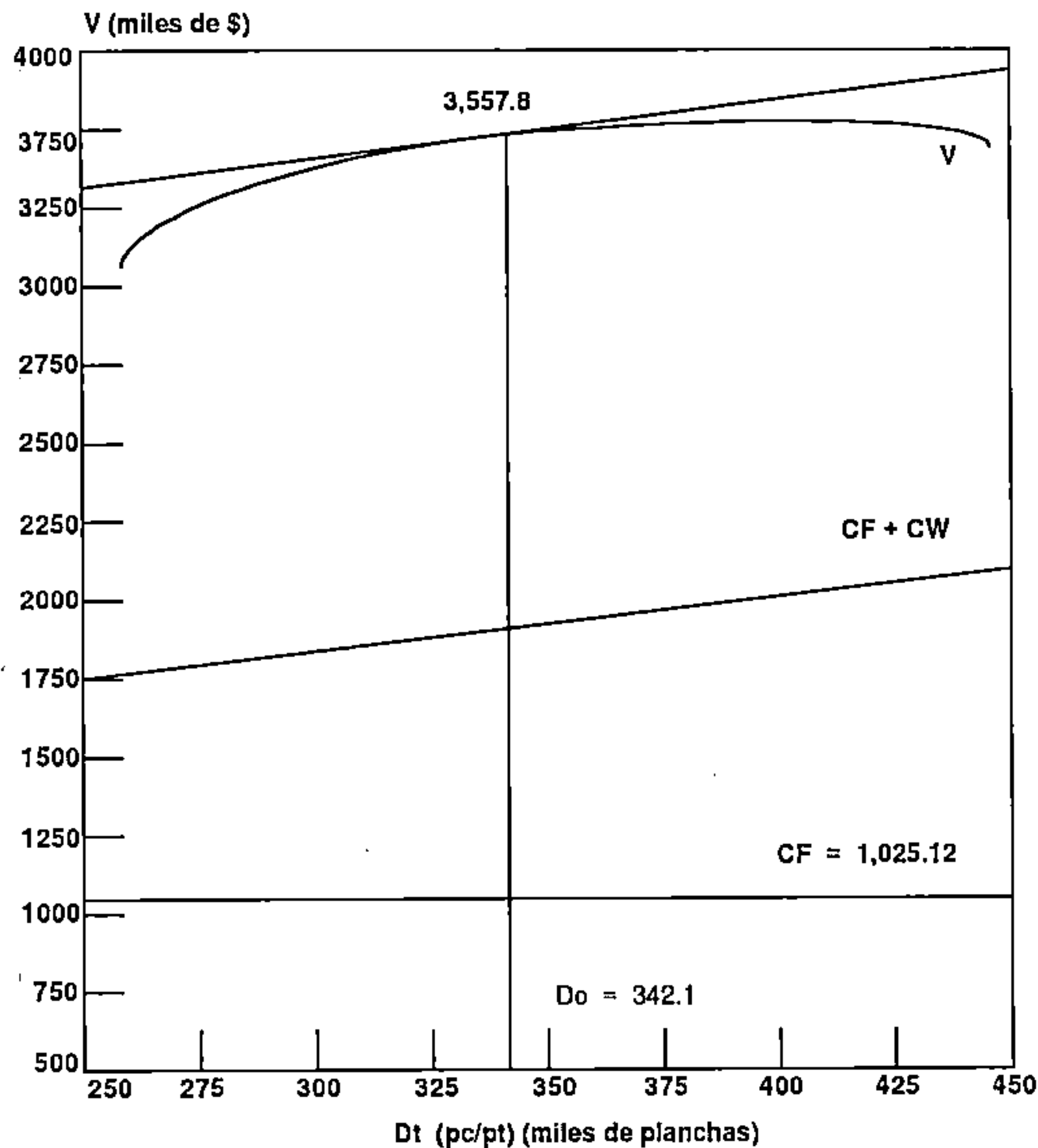


Paso 12: Sabiendo que el precio del triplay es de 8 \$/plancha, se procede al cálculo de las ventas teóricas en función del precio del conglomerado.

pc/pt	Dt (pc/pt) (miles de planchas)	pc=8x (pc/pt) (\$/plancha)	Vt=Dt x pc (miles de \$)
1.00	441.7	8.00	3533,6
1.05	426.7	8.40	3584,3
1.10	411.0	8.80	3616,8
1.15	394.7	9.20	3631,2
1.20	377.8	9.60	3626,9
1.25	360.2	10.00	3602,0
1.30	342.1	10.40	3557,8
1.35	323.4	10.80	3492,7
1.40	304.0	11.20	3404,8
1.45	284.0	11.60	3294,4
1.50	263.5	12.00	3162,0

Paso 13: Consiste en hallar gráficamente a partir de $DT = f(pc/pt) = 600 - 158.31 (pc/pt)^{1.86}$, el valor D_0 , es decir aquella que maximiza las utilidades considerando los costos fijos CF y variables CW, lo que permite determinar el *precio óptimo del conglomerado* (pc_0)

$$\begin{aligned} CF &= 1,025.12 \text{ miles } \$/\text{trimestre} \\ CW &= 0.09 \$/\text{pie}^2 = 2.88 \$/\text{plancha} \end{aligned}$$



Partiendo del paso 12 se tiene que la relación $pc/pt = 1.3$ es la mejor, consecuentemente el precio óptimo del conglomerado será:

$$pc_o = 10.40 \frac{\$}{\text{plancha}} \approx 0.33\$ / \text{pie}^2$$

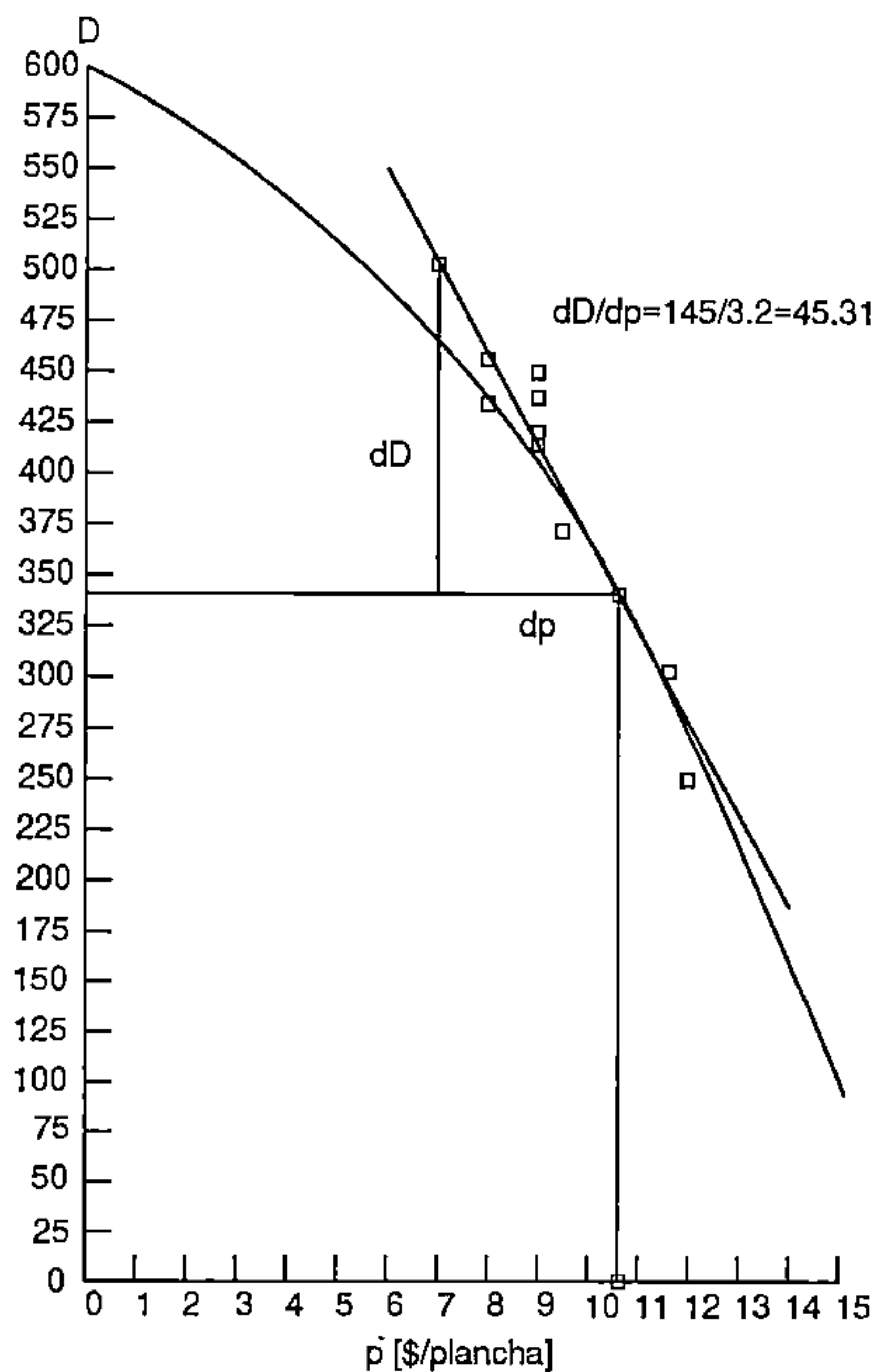
Este p_{opt} cumple con la expresión $P_o = CW \frac{|e_p|}{|e_p| - 1}$

donde $|e_p|$

es la elasticidad de la demanda al precio en valor absoluto. Expresión válida sólo en el entorno del p_{opt} (e_p es variable) y siempre y cuando la demanda sea elástica al precio ($|e_p| > 1$).

La elasticidad para $D_0 = 342.1$ puede obtenerse trazando la tangente a la curva $D_t \text{ (pc/pt)} = 600 - 158.31 \text{ (pc/pt)}^{1.86}$.

$$e_p = \frac{\frac{dD}{D_0}}{\frac{dp}{P_0}} = \frac{145}{3.2} \times \frac{10.40}{342.1} = -1.38$$



También de la expresión $D_t = f(p_c/p_t)$:

p_c \$/plancha	D_t miles de planchas
10,39	342,55
10,40	342,1

$$\theta_p = \frac{\ln D_2 - \ln D_1}{\ln P_2 - \ln P_1} = \frac{\ln 342,1 - \ln 342,55}{\ln 10,40 - \ln 10,39} = -1,38$$

Evidentemente la demanda es elástica al precio, cumpliéndose:

$$0,09 \frac{1,38}{1,38 - 1} = 0,33\$ / \text{pie}^2$$

Paso 14: Se ajusta la demanda considerando el plazo promedio de crédito concedido, partiendo de la siguiente formulación:

$$[V_0(1 - d_0) + V_1(1 - d_1) + V_2] \cdot p = p_{opt}$$

Se estima como atractivo y posible lo siguiente:

Cobranza	Descuento (d)	Pronóstico de venta (V)
0- Al contado	5,66%	23,30%
1- A los 30 días	1,89%	30,0%
2- A los 60 días	0,00%	46,70%

Resulta:

$$[0,233(1 - 0,0566) + 0,3(1 - 0,0189) + 0,467] \cdot p = 10,40$$

Consecuentemente: $p = 10.60$ \$/plancha y:

Forma de pago	Precio (\$/plancha)
Al contado	10.00
A los 30 días	10.40
A los 60 días	10.60

El *plazo promedio de crédito concedido*:

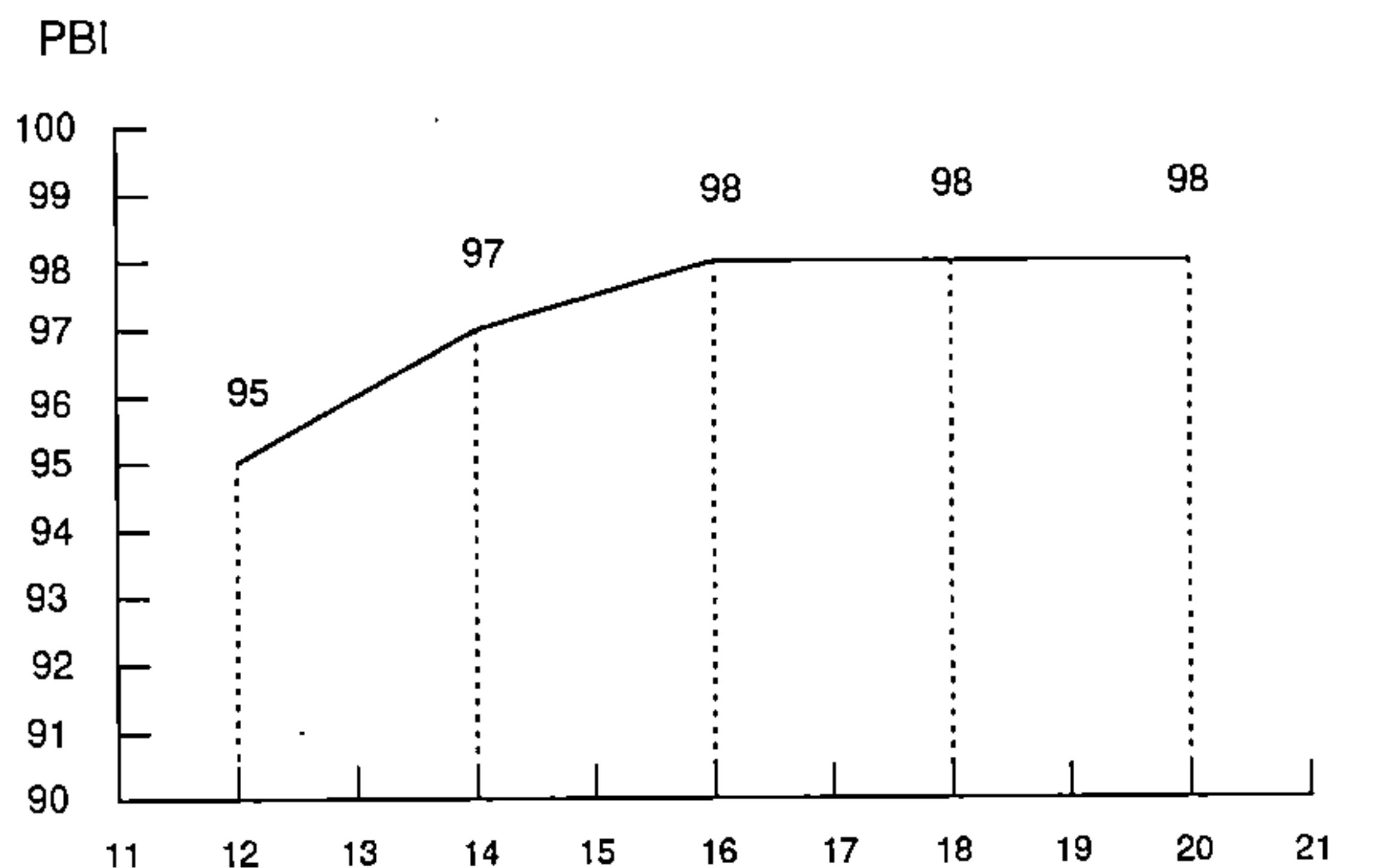
$$ppcc(\text{meses}) = \frac{\text{Créditos}}{\text{Ventas anuales} / 12}$$

Se obtiene entonces:

$$ppcc = \frac{1 \times 0.3 \times 10.40 + 2 \times 0.467 \times 10.60}{10.40} = 1.25 \text{ meses}$$

$$\ddot{A}Dt' = f(ppcc) = -12.49 + 112.17 \ln 1.25 = 12.54 \text{ milesplanchas/trimestre}$$

Paso 15: Se ajusta la demanda considerando las proyecciones del PBI para el año que se inicia (k).



$$\Delta Dt(\text{PBI}) = -186.49 + 1.87 \times 98 = -3.23 \text{ miles de planchas/trimestre}$$

Paso 16: Se ajusta la demanda considerando el crecimiento demográfico del mercado ($t = 3\%$ anual $= 7.4\%$ trimestral).

$$\Delta Dt \quad (cd) = -14.39 + 1.73 j$$

j	ΔDt (miles de planchas/trimestre)
17	+ 15.02
18	+ 16.75
19	+ 18.48
20	+ 20.21

Paso 17: Finalmente, se prepara el *plan anual de ventas* resultante de la *regresión múltiple* y se estima el capital necesario para el financiamiento de las ventas.

Trimestre (j)	Dt (pc/pt)	+	ΔDt (ppcc)	+	ΔDt (pbi)	+	ΔDt (cd)	= Dj'
17	342.10	+	12.54	-	3.23	+	15.02	366.43
18	342.10	+	12.54	-	3.23	+	16.75	368.16
19	342.10	+	12.54	-	3.23	+	18.48	369.89
20	342.10	+	12.54	-	3.23	+	20.21	371.62

$SD'_k = 1,476.1$
Miles de planchas

$$\text{Créditos} = ppcc \frac{\text{Ventas anuales}}{12} = 1.25 \frac{1476100 \times 10.40}{12}$$

$$\approx 1600000 \$$$

Paso 18: Se puede predecir la rentabilidad de la inversión para el año k.

Ventas 1'476,100 planchas x 10.40 \$/planchas	15'351,000
Costos variables 2.88 \$/plancha x 1'476,100 planchas	4'251,000
Costos fijos 1'025,120 \$/trimestre x 4 trimestres	<u>4'100,000</u>
Utilidades del ejercicio k	7'000,000
Inversión	36'000,000
Rentabilidad de la inversión	19.4%

Elección del nivel de actividad en condiciones de incertidumbre y riesgo

Utilización	Para decidir la cantidad a producir o la compra de un producto, ya sea un bien o servicio, cuando su demanda es una incógnita.
Teoría	Teoría de decisiones. Técnica de Delfos.
Bibliografía	ADAM EVERETT, E. y R. EBERT. <i>Administración de la producción y las operaciones</i> . 4a. edición. México: Prentice Hall, 1991, p. 84. BIEGEL, J. <i>Control de producción: Procedimiento cuantitativo</i> . 8a. edición. México: Herrero Hnos., 1978, p. 124. MAYER, R. <i>Gerencia de producción y operaciones</i> . Bogotá: McGraw-Hill, 1977, p. 199.
Modelo práctico	Una empresa debe decidir la cantidad a producir de un <i>hardware</i> cuya venta, debido a la incertidumbre que su introducción en el mercado ocasiona, podría estar comprendida entre 5 y 20 mil unidades durante la campaña.

El precio de venta de los equipos debe ser de 300 \$/u. Los gastos de comercialización del orden de 30 \$/u, y el costo de producción de 150 \$/u. Estimándose además que la producción no vendida durante la campaña puede ser liquidada posteriormente a 100 \$/u sin incurrir en gastos de comercialización como "saldos ex fábrica".

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Para determinar el rango de las ventas en el tiempo previsto para la campaña (entre 5,000 y 20,000 unidades), se recurrió a la técnica de Delfos.

Los pasos a seguir en la técnica de Delfos son los siguientes:

Actores	Pasos
Coordinador	Solicita opinión escrita a expertos, respecto de una situación que necesita pronóstico.
Expertos	Efectúan separada e individualmente su predicción o apreciación.
Coordinador	Sintetiza y edita la apreciación de los expertos. Las apreciaciones de los expertos dan lugar a preguntas.
Expertos	Opinan.
Coordinador	Sintetiza, edita y estructura nuevas preguntas.

Continúa el mismo procedimiento hasta que el coordinador sienta satisfechas sus inquietudes.

NIVEL DE ACTIVIDAD EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE

Se dice que existe una situación de incertidumbre cuando no se puede estimar la probabilidad de venta de un determinado volumen de producción.

Abraham Wald ha desarrollado dos criterios de decisión para determinar el volumen de ventas en condiciones de incertidumbre:

- Maximin o criterio pesimista: Seleccionando la alternativa de fabricación o compra que proporciona la máxima de las mínimas ganancias.
- Maximax o criterio optimista: Seleccionando la alternativa de fabricación o compra que proporciona la máxima de las máximas ganancias.

Para determinar el volumen de ventas utilizando estos dos criterios es necesario confeccionar una matriz de utilidades, basada en las siguientes ecuaciones:

	Cuando $Q > D$	Cuando $Q \leq D$
Ventas en campaña	300 D	300 Q
+ Ventas de saldos	+ 100 (Q - D)	+ 0
- Costos de producción	- 150 Q	- 150 Q
- Gastos comerciales	- 30 D	- 30 Q
Utilidad	170 D - 50 Q	120 Q

Matriz de utilidades
(utilidad en miles de dólares americanos)

Q \ D	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
6	550	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
7	500	670	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840
8	450	620	790	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
9	400	570	740	910	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
10	350	520	690	860	1030	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
11	300	470	640	810	980	1150	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320
12	250	420	590	760	930	1100	1270	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
13	200	370	540	710	880	1050	1220	1390	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560
14	150	320	490	660	830	1000	1170	1340	1510	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680
15	100	270	440	610	780	950	1120	1290	1460	1630	1800	1800	1800	1800	1800	1800
16	50	220	390	560	730	900	1070	1240	1410	1580	1750	1920	1920	1920	1920	1920
17	0	170	340	510	680	850	1020	1190	1360	1530	1700	1870	2040	2040	2040	2040
18	(50)	120	290	460	630	800	970	1140	1310	1480	1650	1820	1990	2160	2160	2160
19	(100)	70	240	410	580	750	920	1090	1260	1430	1600	1770	1940	2110	2280	2280
20	(150)	20	190	360	530	700	870	1040	1210	1380	1550	1720	1890	2060	2230	2400

D = Demanda (miles de unidades)

Q = Producción (miles de unidades)

Como se observa en la matriz utilidad, el criterio pesimista aconseja producir 5 mil u. (600 mil \$) mientras que el optimista recomienda 20 mil u. (2,400 mil \$).

Leonard Savage ha desarrollado un método de decisión menos riesgoso que el Maximax y no tan conservador como el Maximin, el método de los mínimos lamentos o Minimax, criterio gerencial que selecciona la alternativa de fabricación o compra que hará mínimo el "costo de oportunidad" máximo. Para ello se confecciona una segunda matriz, "matriz de costo de oportunidad", con el siguiente razonamiento: si se fabrica o se compra 10 mil u. y la demanda resultase de 15 mil u. habríamos dejado de beneficiarnos con una cantidad marginal de $1800 - 1200 = 600$ mil \$, diferencia que se denomina "costo de oportunidad perdida". Si se fabrica o se compra 19 mil u. y la demanda resultase sólo 5 mil u., la diferencia de: $600 - (-100) = 700$ mil \$ que se pudo haber tenido en caja, será el "lamento".

Para este caso, la matriz de costo de oportunidad es la siguiente:

Matriz de costo de oportunidad
(costo en miles de dólares americanos)

Q \ D	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440	1560	1680	1800
6	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440	1560	1680
7	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440	1560
8	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440
9	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320
10	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
11	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080
12	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840	960
13	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720	840
14	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600	720
15	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480	600
16	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360	480
17	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240	360
18	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120	240
19	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0	120
20	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	0

D = Demanda (miles de unidades)

Q = Producción (miles de unidades)

Por lo tanto, se decide fabricar o comprar 16 mil u. (mínimo lamento: 550 mil \$).

NIVEL DE ACTIVIDAD EN CONDICIONES DE RIESGO

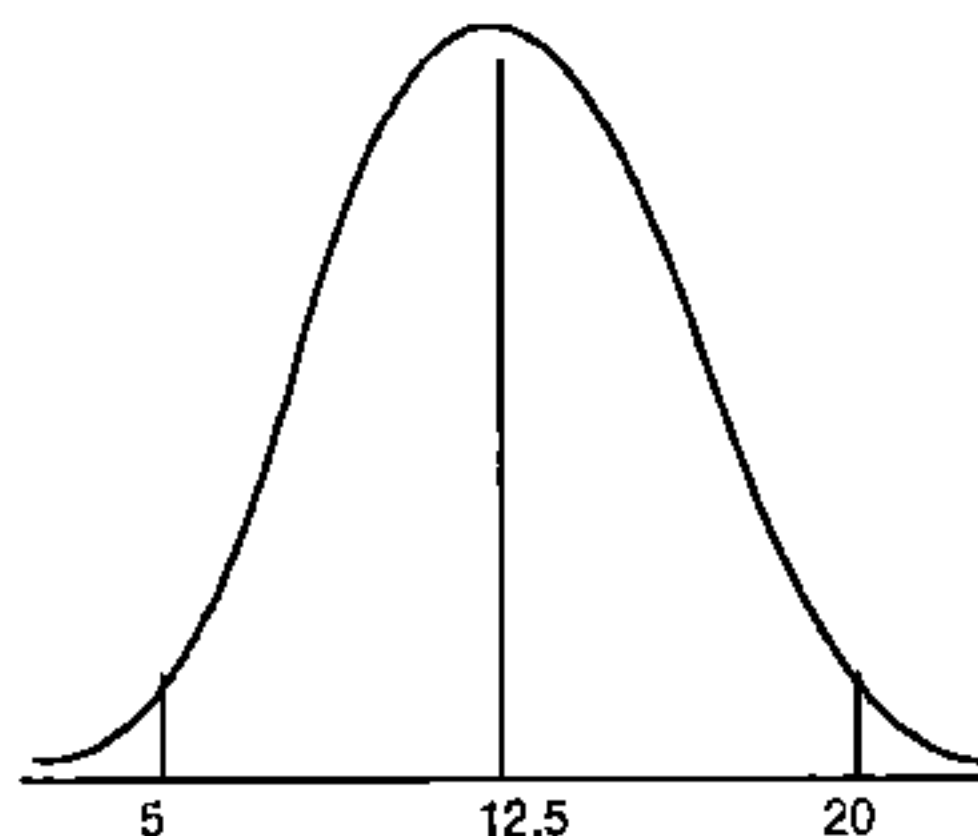
Cuando se conoce la distribución de probabilidades de ocurrencia de la demanda, se dice que se está en condiciones de riesgo.

Mediante el uso de la técnica Delfos, se estimó que la demanda durante la campaña estará entre 5 y 20 mil unidades, esto es, 12.5 ± 7.5 mil u. Se recurre nuevamente a esta técnica para conocer la opinión de los expertos en relación al nivel de confianza de la apreciación anterior (¿68%?, ¿95.5%? o ¿99.7%?). Las respuestas fueron coincidentes: 95.5%.

$$\text{Siendo } \mu = \frac{20 + 5}{2} = 12.5$$

y el nivel de confianza 95.5%, el intervalo de confianza es de: $12.5 \pm 7.5 = \mu \pm 2\sigma$, donde $\sigma = 3.75$

Distribución normal de Gauss



$$F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^{1/2}} dz$$

[illegible]

Se obtiene las siguientes probabilidades:

Miles de unidades		$z = \frac{X - 12.5}{3.75}$	$p(D \geq Q)$	$p(D < Q)$
D	Q			
menos de 6				
....	6	 -1,73		
7			0,9582	0,0418
....	8	 -1,20		
9			0,8849	0,1151
....	10	 -0,67		
11			0,7486	0,2514
....	12	 -0,13		
13			0,5517	0,4483
....	14	 0,40		
15			0,3446	0,6554
....	16	 0,93	↓	↓
17			0,1762	0,8238
....	18	 1,47		
19			0,0708	0,9292
....	20	 2,00		
más de 20				

Se escoge el Q intermedio entre los valores de D, cuyas probabilidades de ocurrencia estén comprendidas en el intervalo:

$$\left. \begin{array}{l} p(D < Q) < \frac{G}{G+P} \\ p(D \geq Q) < \frac{P}{G+P} \end{array} \right\} D \left(\frac{P}{G+P} \right) < Q < D \left(1 - \frac{P}{G+P} \right)$$

Donde

G = Ganancia al vender una unidad

P = Pérdida por no vender una unidad

En este caso:

G = 300 - 150 - 30 = 120 \$/u y

P = 100 - 150 = 50 \$/u.

Por lo tanto:

$p(D < Q) < 70.59\%$ y $p(D \geq Q) < 29.41\%$

Q = 16 mil unidades

La regla empleada es explicable por el método de las ganancias incrementales sabiendo que producir una determinada cantidad Q implica una ganancia o pérdida de: $(G_x p - P_x q) Q$

D		Z	P(Z)		p(D>Q)	p(D<Q)	Ganancias incrementales		Ganancias acumuladas
(Miles u)							G > p = p > q		
menos de 5				1.16 %					
....	4	—	-2.27	4.18% - 1.16% =	3.02%	98.84%	1.16%		
5								120 * 0.9884 - 50 * 0.0116 =	118.03
....	6	—	-1.73	11.51% - 4.18% =	7.33%	95.82%	4.18%		
7								120 * 0.9582 - 50 * 0.0418 =	112.89
....	8	—	-1.20	25.14% - 11.51% =	13.63%	88.49%	11.51%		
9								120 * 0.8849 - 50 * 0.1151 =	100.43
....	10	—	-0.67	44.83% - 25.14% =	19.69%	74.88%	25.14%		
11								120 * 0.7488 - 50 * 0.2514 =	77.29
....	12	—	-0.13	65.54% - 44.83% =	20.71%	55.17%	44.83%		
13								120 * 0.5517 - 50 * 0.4483 =	43.79
....	14	—	0.40	82.38% - 65.54% =	16.84%	34.46%	65.54%		
15								120 * 0.3446 - 50 * 0.6554 =	8.58
....	16	—	0.93	92.92% - 82.38% =	10.54%	17.62%	82.38%		
17								120 * 0.1762 - 50 * 0.8238 =	-20.05
....	18	—	1.47	97.72% - 92.92% =	4.80%	7.08%	92.92%		
19								120 * 0.0708 - 50 * 0.9292 =	-37.00
....	20	—	2.00	100.00% - 97.72% =	2.28%				
más de 20									
					100.00%				

APLICACIÓN AL ÁREA DE PROYECTOS

Para estimar la demanda para un proyecto:

En el estudio de mercado en un proyecto (P_y) determinada la demanda aparente y efectuadas sus proyecciones, la demanda global del mercado para el primer año de operación se estimó en $D = 20$ ton., debiéndose escoger una demanda para el proyecto D_{Py} , es decir, decidir cuál será su participación o grado de penetración $GP = D_{Py} / D$ y el tamaño de planta para el diseño de ingeniería $T = F(D_{Py})$.

La opinión de los especialistas en mercadotecnia y expertos en ventas para el producto de este proyecto, con conocimiento de la problemática (desplazar competidores, enfrentar sustitutos, etc.), respecto de la probabilidad de venta de un determinado volumen de producción, es la siguiente:

D_{Py}	(ton.año ope. 1°)	$p(D_{Py})$	$p(D_{Py} \geq T)$	$p(D_{Py} < T)$
0	(menos de 0.5)	0.01%		
1	(entre 0.5 y 1.5)	1.24%	99.99%	0.01%
2	(entre 1.5 y 2.5)	21.41%	98.75%	1.25%
3	(entre 2.5 y 3.5)	54.68%	77.34%	22.66%
4	(entre 3.5 y 4.5)	21.41%	22.66%	77.34%
5	(entre 4.5 y 5.5)	1.24%	1.25%	98.75%
6 o más	(más de 5.5)	0.01%		

Los especialistas y expertos consideraron que la probabilidad $p(D_{Py})$ se distribuye en su caso según una campana de Gauss (distribución normal).

Mediante el análisis de los cuadros de ingresos y egresos de la competencia y presupuestos de estudios de preinversión se estimaron:

Precio de venta	3.7 \$/k
Costo de producción	2.5 \$/k
Gasto de empaque	0.2 \$/k

Se definió además la política de liquidación a granel, en fábrica, de los saldos anuales a 0.5 \$/k para evitar efectos de obsolescencia.

Ajustes del nivel de actividad

Utilización	En toda industria se intenta que la base de cálculo del requisito de mano de obra y materias primas, el <i>nivel de actividad</i>, casi siempre definido por horas máquinas/mes destinadas a la producción (en industrias monolineales sencillamente por la producción mensual), sea estable, y consecuentemente constante el capital de trabajo necesario, jugando para ello con el stock. Establecido un plan de producción, la necesidad de <i>ajuste del nivel de actividad</i> resulta por: • Demanda real del mercado diferente a la pronosticada. • <i>Crash</i> por ventas excepcionales. • Producción real distinta a la planeada. El ajuste debe efectuarse distribuyendo en un determinado número de períodos las divergencias entre lo real y lo planeado.
Teoría	Planeamiento y control de la producción.
Bibliografía	MAGEE, J. <i>Planeamiento de la producción y control de inventarios</i> . 4a. edición. Buenos Aires: El Ateneo, 1979, p. 163.
Modelo práctico	Una fábrica de cemento, líder en un mercado de 21'500,000 habitantes (demanda per cápita de 118 ± 15 kgr/hab.año) con un grado de penetración del 47.3% estableció en 1988 el plan de producción y venta de 100 mil toneladas mensuales. Con una capacidad que le posibilita producir 120 mil toneladas mensuales, decidió a fines de 1988, modificar el nivel de actividad para 1989, esto es trabajar con el personal necesario para reducir su exagerado inventario de 200 a 50 mil toneladas.

Pero, al iniciarse febrero, se produce una demanda violenta (*crash*), debido a la firma de un contrato para exportar a un país limítrofe 300 mil toneladas en el más corto plazo posible, lo que obliga a las gerencias de producción y ventas a retrasar la atención de pedidos locales previo acuerdo con los clientes.

La empresa necesita disponer del programa ajustado de fabricación y ventas.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: El plan de producción se ajusta por nivelación en $N = 1, 2, 3$, o más períodos luego de un análisis de la problemática (capacidad productiva, estabilidad laboral, costo de almacenaje y obsolescencia). El número de meses (N) en que debe hacerse el ajuste debe ser el resultante de una decisión económica, considerando los costos de un plan de producción variable y de niveles variables de existencias. En el caso se opta por la nivelación en doce períodos.

Mes	Ventas			Producción				Existencia		
	Real Q_v	Pronosticada Q'_v	Diferencia $Q_v - Q'_v$	Real Q_i	Ajuste	Planeada Q'_i	Diferencia $Q_i - Q'_i$	Final S_i	Planeada S'_i	Diferencia $S_i - S'_i$
Diciembre	100	100	0	100		100	0	200		
1 Enero	95	100	-5	88,5	-12,5	87,5	+1	193,5	187,5	+6
2 Febrero		100			-12,5-0,5	87			180,5	
3 Marzo		100			-12,5-0,5	87			167,5	
4 Abril		100			-12,5-0,5	87			154,5	
5 Mayo		100			-12,5-0,5	87			141,5	
6 Junio		100			-12,5-0,5	87			128,5	
7 Julio		100			-12,5-0,5	87			115,5	
8 Agosto		100			-12,5-0,5	87			102,5	
9 Setiembre		100			-12,5-0,5	87			85,5	
10 Octubre		100			-12,5-0,5	87			76,5	
11 Noviembre		100			-12,5-0,5	87			63,5	
12 Diciembre		100			-12,5-0,5	87			50,5	
Enero		100			-0,5	99,5			50	
Febrero		100				100				

De la misma manera se procede mes a mes, efectuándose nuevos ajustes mediante el método de nivelación con $N = 12$ meses.

Paso 2: La demanda violenta provocada por el contrato de exportación a comienzos de febrero origina la necesidad de calcular el número de períodos durante los cuales se deberá producir a la máxima capacidad de 120 mil toneladas mensuales.

$$N = \frac{D_{crash} Q'_v + S_i + Q'_i \text{ Feb.}}{Q'_i \text{ Max.} - Q'_v} = \frac{300 + 100 + 50 - 193,5 - 87}{120 - 100} = 8,475 \text{ meses}$$

Paso 3: El plan de producción a pleno a partir de marzo durante $N = 8.5$ meses será el siguiente:

Mes	Ventas			Producción				Existencias		
	Real Q_v	Pronosticada Q'_v	Diferencia $Q_v - Q'_v$	Real Q_t	Ajuste	Planeada Q'_t	Diferencia $Q_t - Q'_t$	Final S_t	Planeada S'_t	Diferencia $S_t - S'_t$
Diciembre	100	100	0	100		100	0			
Enero	95	100	-5	88,5	-12,5	87,5	+1	193,5	187,5	+6
Febrero		280,5			-12,5-0,5	87			0	
3 Marzo		120				120			0	
4 Abril		120				120			0	
5 Mayo		120				120			0	
6 Junio		120				120			0	
7 Julio		120				120			0	
8 Agosto		119,5				120			0,5	
9 Setiembre		100				120			20,5	
10 Octubre		100				120			40,5	
11 Noviembre		100				109,5			50	
Diciembre		100				100			50	

Lo anterior es fácilmente entendible observando los kárdex de ventas:

Firma extranjera XX			
Fecha	Pedido	Entrega	Saldo pen.
Febrero	300	280,5	19,5
Marzo	-	19,5	-

Distribuidor local YY			
Fecha	Pedido	Entrega	Saldo pen.
Febrero	100	-	100.0
Marzo	100	100,5	99,5
Abril	100	120.0	79,5
Mayo	100	120.0	59,5
Junio	100	120.0	39,5
Julio	100	120.0	19,5
Agosto	100	120.0	-
Setiembre	100	119,5	
Octubre	100	100.0	
Noviembre	100		

Stock de protección almacén			
Fecha	Pedido	Entrega	Saldo pen.
Marzo	50	-	50
Abril	-	-	50
Mayo	-	-	50
Junio	-	-	50
Julio	-	-	50
Agosto	-	0,5	49,5
Setiembre	-	20.0	29,5
Octubre	-	20.0	9,5
Noviembre	-	9,5	-

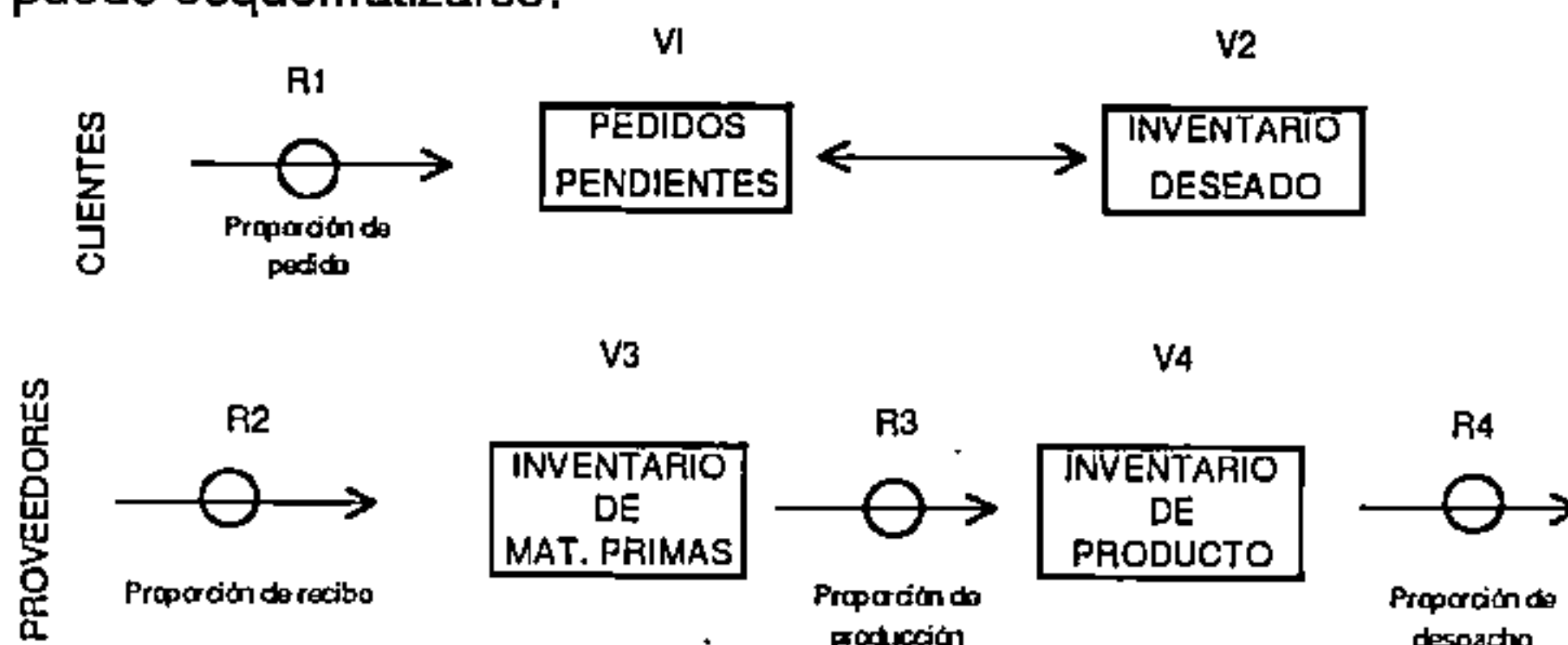
Modelos matemáticos del sistema de producción

Utilización	Para evaluar a priori los efectos que en un cierto horizonte de tiempo y para un determinado producto, pueden provocar tanto los cambios en las proporciones de pedido, recibo, producción y despacho, como la fijación y modificación de los parámetros gerenciales de conducción del sistema.
Teoría	Investigación operativa, métodos de simulación, modelo de D.J. Clough.
Bibliografía	HOPEMAN, R. <i>Administración de producción y operaciones. Planeación, análisis y control</i> . México: Continental, 1986, p. 352.
Modelo práctico	Una pequeña empresa agroindustrial produce trimestralmente 1.8 toneladas de concentrado de bixina, un colorante obtenido a partir de la semilla de achiote adquirida en la región en su época de cosecha (julio a setiembre).

Al finalizar el segundo trimestre del año en curso su gerencia desea evaluar los efectos que en el sistema de producción provocaría un incremento de un 50% en la proporción de pedido, si se concretase la expansión de mercado prevista para el primer trimestre del año venidero, luego de esbozar las variables del modelo y definir los parámetros de conducción requeridos.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

El sistema puede esquematizarse:



El modelo hace uso de:

Proporciones de flujo	R1	Proporción de pedido	
	R2	Proporción de recibo	
	R3	Proporción de producción	
	R4	Proporción de despacho	
Volúmenes	V1	Pedidos pendientes	
	V2	Inventario deseado	
	V3	Inventario de materia prima	
	V4	Inventario de producto	-
Parámetros de decisión	DP1, ..., Dpn establecidos considerando: el horizonte que interesa analizar, restricciones y necesidades. Estos parámetros generalmente serán además de la longitud y número de períodos a simular, capacidad de recibo, producción y despacho las magnitudes mínimas y máximas aceptables para pedidos; y relaciones deseables: V3(t)/R3(t) y V4(t)/R1(t).		

Para el modelo del caso se han considerado los siguientes parámetros:

DP1	=	Longitud del intervalo de tiempo
DP2	=	Factor de protección deseado
DP3	=	Número de períodos a simular
DP4	=	Magnitud de recibo prevista
DP5	=	Capacidad de recibo (máxima)
DP6	=	Capacidad de procesamiento (máxima)
DP7	=	Capacidad de despacho (máxima)

Paso 1:

DP1 = 1 trimestre, se escoge considerando que la compra de achiote sólo se puede efectuar durante el trimestre de cosecha.

R1 (t), es la pronosticada: Continuará siendo en promedio de 1.8 ton/período hasta el último trimestre del año en curso (k). A partir del primer trimestre del año próximo se incrementará a 2.7 toneladas.

$$V1(t) = V1(t-1) + [R1(t) - R4(t)]$$

Paso 2: Parámetros, proporciones y volúmenes para el cálculo de $V2(t)$.

DP2 = 1.6 trimestres, se escoge considerando la protección necesaria ante posibles alteraciones de las proporciones de pedido y producción entre períodos.

$$V2(t) = DP2 \times R1(t)$$

Paso 3:

DP3 = 8 trimestres, se escoge considerando que en este horizonte habrá dos cosechas y consecuentemente se podrán hacer dos recibos de magnitud:

$$DP4 = \frac{-2.80 + 2 \times 1.8 + 6 \times 2.7 + 1.6 \times 2.7}{2} = 10.7 \text{ ton/recibo}$$

DP5 = 15.2 ton/cosecha, se escoge considerando que es posible conseguir en la región semilla de achote para esta cantidad de producto, que corresponde a la capacidad de procesamiento anual máxima de la planta:

DP6 = 3.8 ton/trimestre

$$R2(t) = DP4 \frac{V2(t-1)}{V4(t-1)} \leq DP5 \quad \text{para } t = 1, 5, \dots$$

$$R2(t) = 0 \quad \text{para los demás períodos}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R1(t) + V2(t) - V4(t-1) \\ R3(t) = \min V3(t-1) \\ DP6 \end{array} \right.$$

$$V3(t) = V3(t-1) + [R2(t) - R3(t)]$$

Paso 4:

$DP7 = 1.6 \times 2.7 + 3.8 = 8.1$ ton/trimestre, se escoge sabiendo que se puede despachar en un período todo el stock inicial de producto más su producción máxima.

$$\left\{ \begin{array}{l} V1(t-1) \\ R4(t) = \min V4(t-1) \\ DP7 \end{array} \right.$$

$$V4(t) = V4(t-1) + [R3(t) - R4(t)]$$

Paso 5: Simulación

$R1(t)$ según pronóstico

$$R2(t) = 10.7 \frac{V2(t-1)}{V4(t-1)} \leq 15.2 \quad \text{para } t = 1 \text{ y } 5$$

$$R2(t) = 0 \quad \text{para los demás períodos}$$

$$R3(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} R1(t) + V2(t) - V4(t-1) \\ V3(t-1) \\ 3.8 \end{array} \right.$$

$$R4(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} V1(t-1) \\ V4(t-1) \\ 8.1 \end{array} \right.$$

$$V1(t) = V1(t-1) + [R1(t) - R4(t)]$$

$$V2(t) = 1.6 R1(t)$$

$$V3(t) = V3(t-1) + [R2(t) - R3(t)]$$

$$V4(t) = V4(t-1) + [R3(t) - R4(t)]$$

Trimestre	t	R1	R2	R3	R4	V1	V2	V3	V4
2/k	0	1.85				1.8	2.9	2.8	3.7
* 3/k	1	1.80	8.4	1.0	1.8	1.8	2.9	10.2	2.9
4/k	2	1.80	0	1.8	1.8	1.8	2.9	8.4	2.9
1/k+1	3	2.70	0	3.8	1.8	2.7	4.3	4.6	4.9
2/k+1	4	2.70	0	2.1	2.7	2.7	4.3	2.5	4.3
* 3/k+1	5	2.70	10.7	2.5	2.7	2.7	4.3	10.7	4.1
4/k+1	6	2.70	0	2.9	2.7	2.7	4.3	7.8	4.3
1/k+2	7	2.70	0	2.7	2.7	2.7	4.3	5.1	4.3
2/k+2	8	2.70	0	2.7	2.7	2.7	4.3	2.4	4.3

Paso 6: Análisis del comportamiento del sistema en los dos años simulados.

El modelo satisfará a la gerencia si se modifica el parámetro DP4 elevándolo para evitar los problemas que se producirán en los $t = 3$ y 9 por no disponer de todo el achiote necesario.

Interferencia en máquinas automáticas, fórmula de Ashcroft

Utilización	El número óptimo de máquinas automáticas asignables a un operador puede ser definido con el conocimiento de la disminución de la producción por hora máquina que la atención provoca.
	Tablas y ábacos han sido desarrollados para establecer cómo se modifica el tiempo estándar de una operación cíclica con la aparición de un tiempo de interferencias provocada por la espera de máquinas cuando el operario está efectuando actividades no diferibles, presuponiendo que las necesidades de servicio sean aleatorias y los tiempos de atención similares. A sabiendas de que tales necesidades y tiempos no son tan así, la fórmula de Ashcroft, aún con distorsiones comprobables mediante el control de producción, permite esbozar un método de cálculo aceptable.
Teoría	Teoría de Colas.
Bibliografía	NIEBEL, B. <i>Ingeniería industrial: Métodos, tiempos y movimientos</i> . 9a. edición. México: Alfaomega, 1996, p. 164.
Modelo práctico	En una sección dedicada al moldeo de resinas fenólicas para la producción de piezas diversas de baquelita se cuenta con un enjambre de 12 prensas que efectúan el moldeo de un tiempo tecnológico que varía entre 20 y 30 minutos por jornada (h) con un promedio ponderado $T_t = 24.2 \text{ min maq/h}$.

El tiempo manual de servicio del operador que varía entre 3 y 10 minutos por hornada es en promedio ponderado $T_m = 3.6 \text{ min maq/u}$.

El costo horario del operador, incluidos sus beneficios sociales es $CD = 1.80 \text{ \$/H}$.

El costo horario de cada máquina, considerada depreciación propia y del molde, consumo de energía y servicio de mantenimiento es $CM = 3.60 \text{ \$/H}$.

¿Cuántos operarios se deben asignar a la atención de las 12 máquinas, por turno de trabajo?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: La fórmula empírica de Ashcroft permite determinar el denominado coeficiente de interferencia

$$C = \frac{T_i}{T_m} = f(T_i / T_m; N)$$

donde:

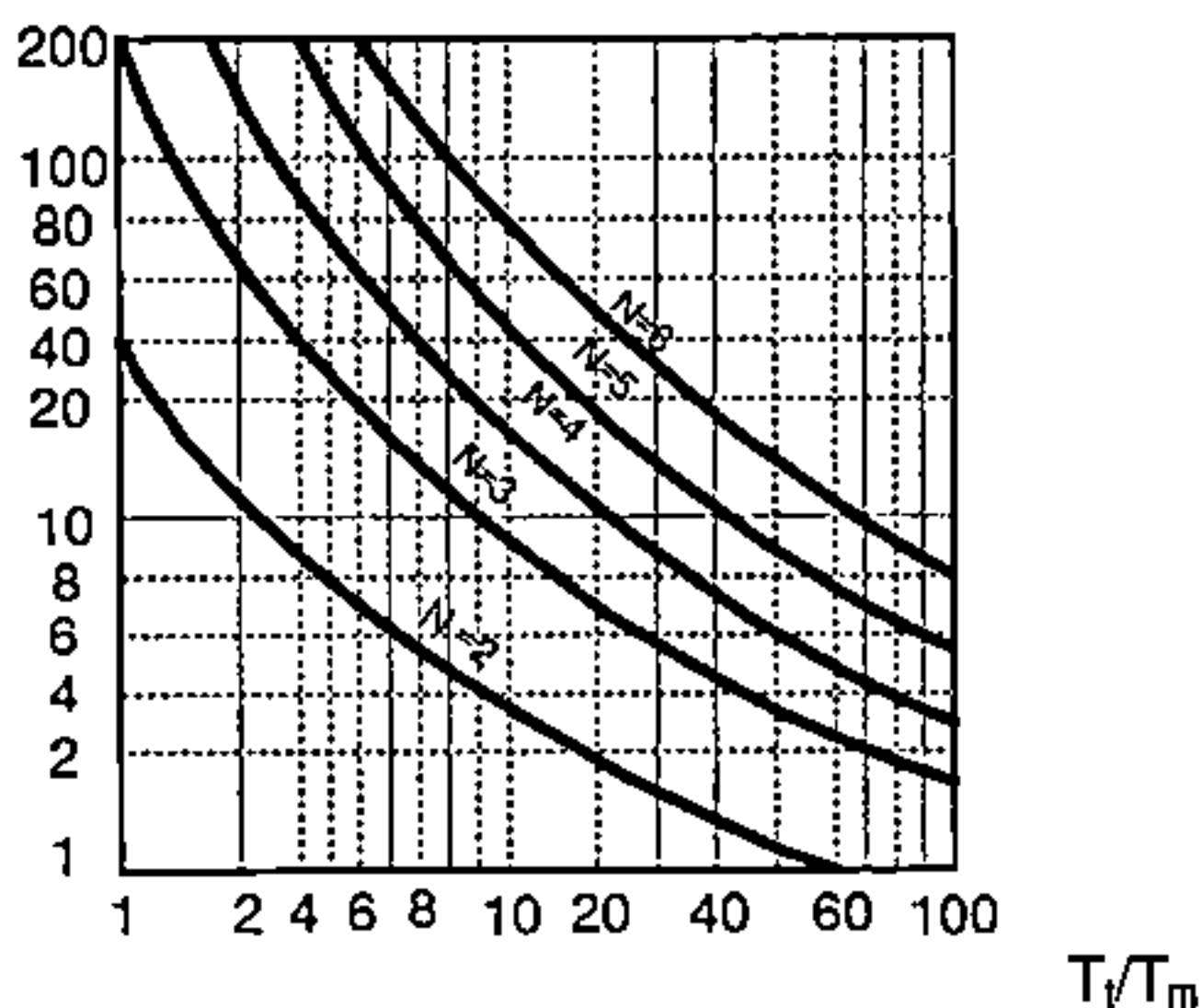
- N = Número de máquinas automáticas asignadas a la atención de un operador
 T_t = Tiempo tecnológico
 T_m = Tiempo manual
 T_i = Tiempo de interferencia

$$C_i = I \cdot \left[\sqrt{\left(1 + \frac{T_t}{T_m} - N\right)^2 + 2N} - \left(1 + \frac{T_t}{T_m} - N\right) \right]$$

Donde puede considerarse constante $I = 50\%$ para siete o más máquinas. Para dos a seis máquinas Wright preparó la siguiente gráfica:

$$C_i (\%) = 100 T_i / T_m$$

$$C_i (\%) = 100 T_i / T_m$$



Siendo el tiempo estándar del ciclo operativo:
 $T_c = T_t + T_m + T_i$, la producción esperada:

$$Q_{esp} = \frac{N}{T_c} = \frac{A}{T_i}, \text{ donde } A \text{ es el denominador}$$

número de Ashcroft indicador de cuentas estarían simultáneamente operando.

Paso 2: Siendo el costo horario resultante para cada asignación $CH = CO + N.CM$, importa que el costo unitario sea el mínimo:

$$c(\$ / h) = \frac{CH(\$ / H)}{Q_{esp}(h / H)}$$

Siendo en este caso $T_t = 24.2$ min.máq/Hr y $T_m = 3.6$ min/máq/Hr, se calcula, para $N = 1, 2, 3, 4, 6$ y 12 máq.

N	$C_t(\%)$	$T_j(\text{min})$	$T_c(\text{min})$	$Q_{\text{cap}}(\text{h/H})$	A	CH(\$/H)	c(\$/h)
1	0.0	0.0	27,8	2,158	0,87	5.40	2.50
2	5,3	0,2	28.0	4.240	1,71	9.00	2,12
3	15.0	0,5	28,3	6.360	2,57	12.60	1,98
4	30.0	1,1	28,9	8,304	3,35	16.20	<u>1,95</u>
6	90.0	3,2	31.0	11,613	4,68	23.40	2,01
12	539,1	19,4	47,2	15,254	6,15	45.00	2,95

Resultando el costo unitario mínimo de 1.95 \$/h, se asignan cuatro máquinas a cada operario requiriéndose tres operarios por turno.

Atención de un enjambre de máquinas

Utilización	Cuando las detenciones de máquinas de un conjunto ocurren según un cierto histograma y los tiempos para hacerlas arrancar nuevamente (dependientes de tipo de problema) también, es posible calcular el número óptimo de servidores a asignar la atención del enjambre.
Teoría	Simulación de Montecarlo. Teoría de Colas.
Bibliografía	TIMMS, H. <i>La función de la producción en los negocios</i> . 7a. edición. México: Continental, 1981, p. 471.
Modelo práctico	Un conjunto de 20 máquinas automáticas está asignado al tejido de dril las 144 horas semanales laborables. Siendo la capacidad de producción 10.4 m/HM y la utilidad de 2 \$/m el lucro cesante por hora máquina no utilizada resulta de 20.80 \$/HM. Siendo el costo de la hora hombre de 2.00 \$/HH importa establecer el número óptimo de operarios/turno.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

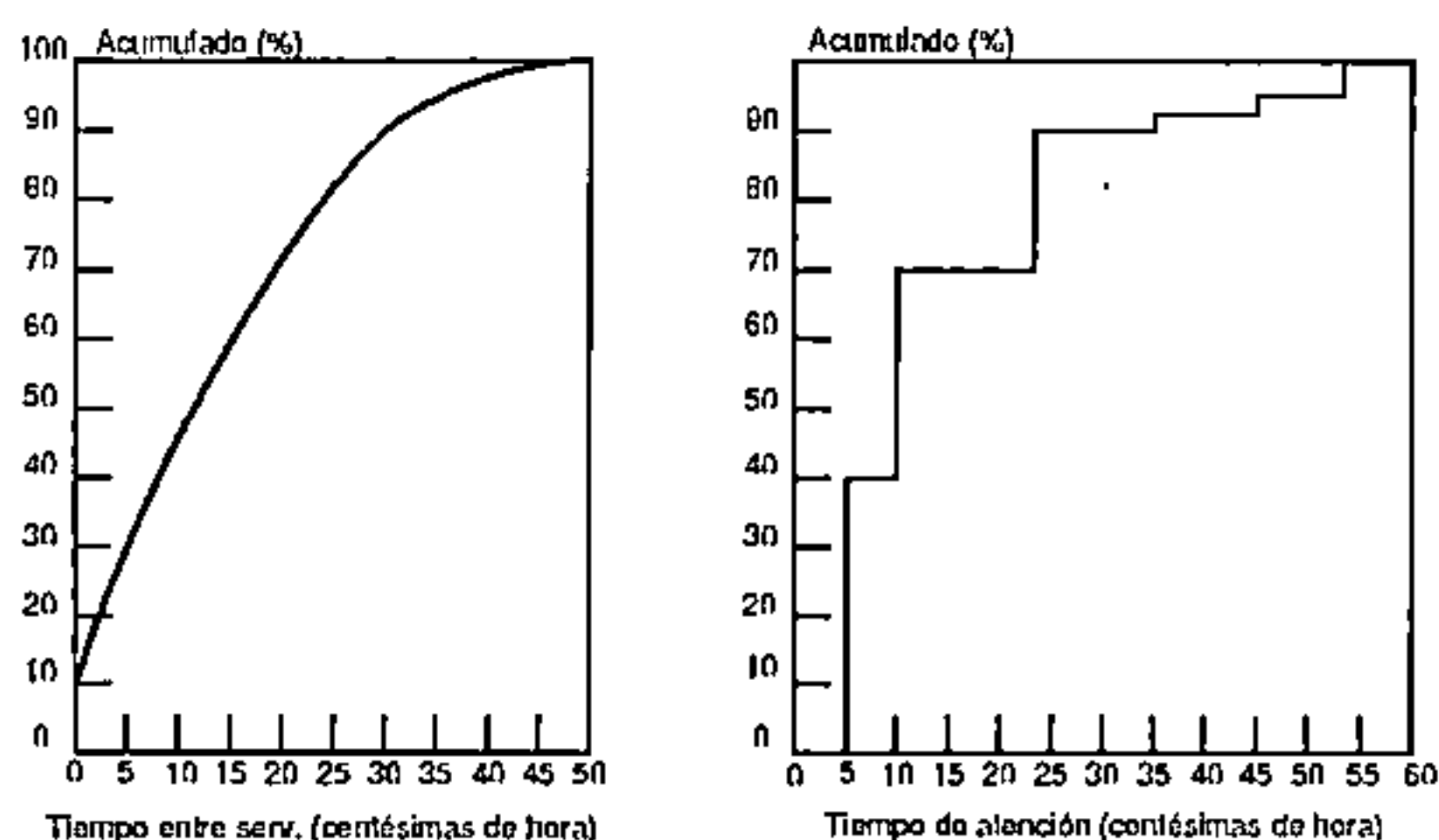
Paso 1: Consiste en efectuar una estadística durante un lapso suficiente, una semana por ejemplo, para calcular frecuencia de ocurrencias tanto para los tiempos transcurridos entre pedidos de servicio como para los tiempos de atención (por rotura de hilos, cambio de usos y tramas, ajustes y reparaciones menores de telares).

Tiempo transcurrido entre pedidos de servicio de las máquinas T_1 (en centésimas de hora)	Frecuencia (%)
0 - 4	21
5 - 9	19
10 - 14	17
15 - 19	15
20 - 24	12
25 - 29	8
30 - 34	5
35 - 39	2
40 - 44	1
45 - 49	0

Tiempo de atención T_2 (en centésimas de horas)	Frecuencia (%)
5	41
8	27
25	20
33	7
42	4
50	1

$$\bar{T}_2 = 13.7 \text{ centésimas de hora}$$

Paso 2: Graficar las frecuencias acumuladas



Paso 3: Efectuando la simulación mediante el método de Montecarlo, generando números al azar (*random*) de 0 a 100% e interceptando a las distribuciones gráficas en el paso 2 para un estimado muestral de 10 horas de trabajo con la asignación de todo el enjambre a un solo operario por turno, se establece el número de simulaciones necesarias (n) para que el resultado obtenido (en este caso la espera de máquinas) tenga un nivel de confianza $NC = 95\%$ y un límite de error $E = \pm 6\%$, es decir que el resultado no discrepe del valor real en más de un 5% de los casos, y que la discrepancia entre el valor obtenido y el real, si se llevase una estadística de ocurrencias a lo largo de todo el horizonte de producción, no supere el 6%.

Sabiendo que el operario toma refrigerio sin detener sus máquinas y que las labores del primer turno comienzan a las 7:00 am.:

n	Random 1	Lapso entre detenciones (cH)	Hora de detención	Hora de atención	Random 2	Tiempo de atención (cH)	Hora de conclusión del servicio	Tiempo de es- pera del operario (cH)	Tiempo de es- pera máquina (cH)
	Inicio de labores 700								
1	83	24	724	724	56	8	732	24	0
2	27	6	730	732	4	5	737	0	2
3	20	9	739	739	75	25	764	2	0
4	83	25	764	764	95	42	806	0	0
5	68	19	783	806	63	8	814	0	23
6	22	5	788	814	73	25	839	0	26
7	49	13	801	839	77	25	864	0	38
8	7	0	801	864	29	5	869	0	63
9	48	12	813	869	82	25	894	0	56
10	92	30	843	894	83	25	919	0	51
11	64	17	860	919	97	42	961	0	59
12	51	13	873	961	88	25	986	0	88
13	99	45	918	986	46	8	994	0	68
14	76	22	940	994	54	8	1002	0	54
15	84	24	964	1002	39	5	1007	0	38
16	22	5	969	1007	91	37	1040	0	38
17	47	11	980	1040	28	5	1045	0	60
18	26	6	986	1045	38	5	1050	0	59
19	51	12	998	1050	18	5	1055	0	52
20	18	4	1002	1055	57	8	1063	0	53
21	3	0	1002	1063	34	5	1068	0	61

En 10 horas de muestreo con 57 ocurrencias se han producido 42 esperas de máquina, de donde:

$$p = \frac{42}{57} = 0.74$$

$$q = 1 - p = 0.26$$

El número de ocurrencias por día será $\frac{57 \times 24}{10} = 137$ ocurrencias/día. Asumiendo además que la empresa continuará produciendo con esta tecnología por 5 años:

$$N = 137 \frac{\text{ocurrencias}}{\text{día}} \times 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 5 \text{ años} = 205500 \text{ ocurrencias}$$

Por lo tanto: $n = \frac{pqNZ^2}{E^2N - pqZ^2} = \frac{(0.74)(0.26)(205500)(1.96)^2}{(0.06)^2(205500) - (0.74)(0.26)(1.96)^2} = 205 \text{ ocurrencias} = 2 \text{ días de simulación}$

Continuando la simulación para un operario hasta concluidos dos días:

n	Random 1	Lapso entre detenciones (ch)	Hora de detención	Hora de atención	Random 2	Tiempo de atención (ch)	Hora de conclusión del servicio	Tiempo de espera del operario (ch)	Tiempo de espera máquina (ch)
58	81	22	1670	1699	65	8	1707	0	29
59	75	20	1690	1707	29	5	1712	0	17
60	15	3	1693	1712	60	8	1720	0	19
61	3	0	1693	1720	23	5	1725	0	27
62	16	4	1697	1725	98	42	1767	0	28
63	51	12	1709	1767	1	5	1772	0	58
64	34	7	1716	1772	1	5	1777	0	56
65	59	15	1731	1777	1	5	1782	0	46
66	12	2	1733	1782	2	5	1787	0	49
67	65	17	1750	1787	8	5	1792	0	37
68	4	0	1750	1792	59	8	1800	0	42
69	32	7	1757	1800	71	25	1825	0	43
70	91	31	1788	1825	5	5	1830	0	37
71	36	8	1796	1830	35	5	1835	0	34
72	28	6	1802	1835	39	5	1840	0	33
73	62	16	1818	1840	46	8	1848	0	22
74	47	11	1829	1848	54	8	1856	0	19
75	88	28	1857	1857	12	5	1862	1	0
76	2	0	1857	1862	96	42	1904	0	5
77	51	12	1869	1904	41	8	1912	0	35
78	66	18	1887	1912	56	8	1920	0	25
79	20	4	1891	1920	36	5	1925	0	29
80	7	0	1891	1925	90	33	1958	0	34
81	93	31	1922	1958	70	25	1983	0	36
82	32	7	1929	1983	78	25	2008	0	54
83	85	25	1954	2008	79	25	2033	0	54
84	89	28	1982	2033	84	25	2058	0	51
85	28	6	1988	2058	4	5	2063	0	70
86	84	24	2012	2063	1	5	2068	0	51
87	79	22	2034	2068	92	33	2101	0	34
88	32	7	2041	2101	82	25	2126	0	60
89	83	24	2065	2126	59	8	2134	0	61

n	Random 1	Lapso entre detenciones (ch)	Hora de detención	Hora de atención	Random 2	Tiempo de atención (ch)	Hora de conclusión del servicio	Tiempo de espera del Operario (ch)	Tiempo de espera para Máquina (ch)
90	24	6	2071	2134	58	8	2142	0	63
91	17	4	2075	2142	47	8	2150	0	67
92	74	21	2096	2150	9	5	2155	0	54
93	85	25	2121	2155	51	8	2163	0	34
94	60	15	2136	2163	73	25	2188	0	27
95	49	12	2148	2188	20	5	2193	0	40
96	68	18	2166	2193	83	25	2218	0	27
97	98	38	2204	2218	2	5	2223	0	14
98	4	0	2204	2223	56	8	2231	0	19
99	49	12	2216	2231	98	42	2273	0	15
100	52	13	2229	2273	37	5	2278	0	44
101	55	14	2243	2278	40	5	2283	0	35
102	29	6	2249	2283	64	8	2291	0	34
103	53	13	2262	2291	97	42	2333	0	29
104	6	0	2262	2333	54	8	2341	0	71
105	57	14	2276	2341	1	5	2346	0	65
106	73	20	2296	2346	17	5	2351	0	50
107	46	11	2307	2351	19	5	2356	0	44
108	90	28	2335	2356	81	25	2381	0	21
109	29	6	2341	2381	68	25	2406	0	40
110	60	15	2356	2406	31	5	2411	0	50
111	83	24	2380	2411	96	42	2453	0	31
112	49	12	2392	2453	27	5	2458	0	61
113	35	8	2400	2458	51	8	2466	0	58
114	12	3	2403	2466	11	5	2471	0	63
115	2	0	2403	2471	13	5	2476	0	68
116	24	5	2408	2476	62	8	2484	0	68
117	19	4	2412	2484	65	8	2492	0	72
118	87	26	2438	2492	81	25	2517	0	54
119	24	5	2443	2517	32	5	2522	0	74
120	81	23	2466	2522	11	5	2527	0	56
121	41	9	2475	2527	7	5	2532	0	52
122	63	16	2491	2532	55	8	2540	0	41
123	92	30	2521	2540	39	5	2545	0	19
124	29	6	2527	2545	81	25	2570	0	18
125	18	4	2531	2570	3	5	2575	0	39
126	52	12	2543	2575	41	8	2583	0	32
127	15	3	2546	2583	63	8	2591	0	37
128	37	8	2554	2591	84	25	2616	0	37
129	21	4	2558	2616	89	33	2649	0	58
130	64	16	2574	2649	27	5	2654	0	75
131	32	7	2581	2654	29				
132	23	5	2586						
270	88	27	2613	2667	42	8	2675	0	54
271	75	21	2634	2675	33	5	2680	0	41
272	58	14	2648	2680	28	5	2685	0	32
273	30	6	2654	2685	96	42	2727	0	31
274	66	17	2671	2727	73	25	2752	0	56
								386	9.678

$$\sum \text{esp}_{\text{maq}} = \frac{9678 \text{ch}}{2 \text{días}} \times \frac{1 \text{H}}{100 \text{ch}} = 48.39 \frac{\text{HM}}{\text{día}}$$

$$\sum \text{esp}_{\text{ope}} = \frac{386 \text{ch}}{2 \text{días}} \times \frac{1 \text{H}}{100 \text{ch}} = 1.93 \frac{\text{HH}}{\text{día}}$$

$$\text{Costo de cola} = 48.39 \frac{\text{HM}}{\text{día}} \times 20.80 \frac{\$}{\text{HM}} + 1.93 \frac{\text{HH}}{\text{día}} \times 2.00 \frac{\$}{\text{HH}} = 1010.37 \frac{\$}{\text{día}}$$

Paso 4: Con la misma u otra simulación se efectúan los cálculos de $\Sigma \text{esp}_{\text{maq}}$ y $\Sigma \text{esp}_{\text{ope}}$ para igual lapso de dos días contando con dos operarios en cada turno (O_1 y O_2).

Se calcula el costo de cola para dos operadores:

n	Random 1	Lapso entre detenciones (ch)	Hora de detención	Hora de atención	Random 2	Tiempo de atención (ch)	Hora de conclusión del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de espera del operario 01 (ch)	Tiempo de espera del operario 02 (ch)	Tiempo de espera para máquina (ch)
Inicio de labores			700								
1	83	24	724	724	56	8	732	01	24	-	-
2	27	6	730	730	4	5	735	02	-	30	-
3	20	9	739	739	75	25	764	01	7	-	-
4	83	25	764	764	95	42	806	02	-	29	-
5	68	19	783	783	63	8	791	01	19	-	-
6	22	5	788	788	73	25	816	01	-	-	3
7	49	13	801	801	77	25	831	02	-	-	5
8	7	0	801	801	29	5	821	01	-	-	15
9	48	12	813	813	82	25	846	01	-	-	8
10	92	30	843	843	83	25	868	02	-	12	-
11	64	17	860	860	97	42	902	01	14	-	-
12	51	13	873	873	88	25	898	02	-	5	-
13	99	45	918	918	46	8	926	01	16	-	-
14	76	22	940	940	54	8	948	02	-	42	-
15	84	24	964	964	39	5	969	01	38	-	-
16	22	5	969	969	91	33	1002	02	-	21	-
17	47	11	980	980	28	5	985	01	11	-	-
18	26	6	986	986	38	5	991	01	1	-	-
19	51	12	998	998	18	5	1003	01	7	-	-
20	18	4	1002	1002	57	8	1010	02	-	-	-
21	3	0	1002	1002	34	5	1008	01	-	-	1

n	Random 1	Lapso entre detenciones (cH)	Hora de detención	Hora de atención	Random 2	Tiempo de atención (cH)	Hora de conducción del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de espera del operario 01 (cH)	Tiempo de espera del operario 02 (cH)	Tiempo de espera máquina (cH)
22	56	14	1016	1016	85	25	1041	02	-	6	-
23	99	45	1061	1061	14	5	1066	01	53	-	-
24	15	3	1064	1064	13	5	1069	02	-	23	-
25	98	47	1111	1111	59	8	1119	01	45	-	-
26	51	13	1124	1124	92	33	1157	02	-	55	-
27	96	47	1171	1171	66	8	1179	01	52	-	-
28	33	7	1178	1178	41	8	1186	02	-	21	-
29	71	19	1197	1197	74	25	1222	01	18	-	-
30	3	0	1197	1197	46	8	1205	02	-	11	-
31	4	0	1197	1197	26	5	1210	02	-	-	8
32	92	28	1225	1225	39	5	1230	01	2	-	-
33	44	11	1236	1236	55	8	1240	02	-	26	-
34	64	17	1253	1253	48	8	1261	01	23	-	-
35	42	10	1263	1263	85	25	1298	02	-	23	-
36	4	0	1263	1263	39	5	1268	01	2	-	-
37	43	11	1274	1274	59	8	1282	01	6	-	-
38	2	0	1274	1274	16	5	1287	01	-	-	8
39	24	6	1280	1280	92	33	1320	01	-	-	7
40	76	21	1301	1301	31	5	1306	02	-	13	-
41	77	22	1323	1323	37	5	1328	01	3	-	-
42	98	50	1373	1373	20	5	1378	02	-	67	-
43	77	22	1395	1395	6	5	1400	01	67	-	-
44	74	20	1415	1415	49	8	1423	02	-	37	-
45	34	7	1422	1422	55	8	1430	01	22	-	-
46	87	27	1449	1449	42	8	1457	02	-	26	-
47	42	11	1460	1460	17	5	1465	01	30	-	-
48	98	50	1510	1510	70	25	1535	02	-	53	-
49	9	1	1511	1511	19	5	1516	01	46	-	-
50	60	16	1527	1527	91	33	1560	01	11	-	-
51	19	4	1531	1531	80	25	1560	02	-	-	4
52	73	21	1552	1552	47	8	1568	01	-	-	8
53	97	48	1600	1600	79	25	1625	02	-	40	-
54	89	27	1627	1627	30	5	1632	01	59	-	-
55	15	4	1631	1631	38	5	1636	02	-	6	-
56	10	2	1633	1633	100	50	1683	01	1	-	-
57	58	15	1648	1648	62	8	1656	02	-	12	-
58	81	22	1670	1670	65	8	1678	02	-	14	-
59	75	20	1690	1690	29	5	1695	01	7	-	-
60	15	3	1693	1693	60	8	1701	02	-	15	-
61	3	0	1693	1693	23	5	1700	01	-	-	2
62	16	4	1697	1697	98	42	1742	01	-	-	3
63	51	12	1709	1709	1	5	1714	02	-	8	-
64	34	7	1716	1716	1	5	1721	02	-	2	-
65	59	15	1731	1731	1	5	1736	02	-	18	-
66	12	2	1733	1733	2	5	1741	02	-	-	3
67	65	17	1750	1750	8	5	1755	01	8	-	-
68	4	0	1750	1750	59	8	1758	02	-	9	-
69	32	7	1757	1757	71	25	1782	01	2	-	-
70	91	31	1788	1788	5	5	1793	02	-	30	-

n	Random 1	Lapso entre detenciones (ch)	Hora de deten- ción	Hora de aten- ción	Random 2	Tiempo de atención (ch)	Hora de condu- cción del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de es- pera del operario 01 (ch)	Tiempo de es- pera del operario 02 (ch)	Tiempo de espera máquina (ch)
71	36	8	1796	1796	35	5	1801	01	14	-	-
72	28	6	1802	1802	39	5	1807	02	-	9	-
73	62	16	1818	1818	46	8	1826	01	17	-	-
74	47	11	1829	1829	54	8	1837	02	-	22	-
75	88	28	1857	1857	12	5	1862	01	31	-	-
76	2	0	1857	1857	96	42	1899	02	-	20	-
77	51	12	1869	1869	41	8	1877	01	7	-	-
78	66	18	1887	1887	56	8	1895	01	10	-	-
79	20	4	1895	1895	36	5	1900	01	-	-	4
80	7	0	1891	1899	90	33	1932	02	-	-	2
81	93	31	1922	1922	70	25	1947	01	22	-	-
82	32	7	1929	1932	78	25	1957	02	-	-	3
83	85	25	1954	1954	79	25	1979	01	7	-	-
84	89	28	1982	1982	84	25	2007	02	-	25	-
85	28	6	1988	1988	4	5	1993	01	9	-	-
86	84	24	2012	2012	1	5	2017	02	-	5	-
87	79	22	2034	2034	92	33	2067	01	41	-	-
88	32	7	2041	2041	82	25	2066	02	-	24	-
89	83	24	2065	2065	59	8	2074	02	-	-	1
90	24	6	2071	2071	58	8	2079	01	4	-	-
91	17	4	2075	2075	47	8	2083	02	-	1	-
92	74	21	2096	2096	9	5	2101	01	17	-	-
93	85	25	2121	2121	51	8	2129	02	-	38	-
94	60	15	2136	2136	73	25	2161	01	30	-	-
95	49	12	2148	2148	20	5	2153	02	-	19	-
96	68	18	2166	2166	83	25	2191	01	5	-	-
97	98	38	2204	2204	2	5	2209	02	-	51	-
98	4	0	2204	2204	56	8	2212	01	13	-	-
99	49	12	2216	2216	98	42	2258	02	-	7	-
100	52	13	2229	2229	37	5	2234	01	17	-	-
101	55	14	2243	2243	40	5	2248	01	9	-	-
102	29	6	2249	2249	64	8	2257	01	1	-	-
103	53	13	2262	2262	97	42	2304	02	-	4	-
104	6	0	2262	2262	54	8	2270	01	5	-	-
105	57	14	2276	2276	1	5	2281	01	6	-	-
106	73	20	2296	2296	17	5	2301	01	15	-	-
107	46	11	2307	2307	19	5	2312	02	-	3	-
108	90	28	2335	2335	81	25	2360	01	34	-	-
109	29	6	2341	2341	68	25	2366	02	-	29	-
110	60	15	2356	2460	31	5	2365	01	-	-	4
111	83	24	2380	2380	96	42	2422	02	-	14	-
112	49	12	2392	2392	27	5	2392	01	27	-	-
113	35	8	2400	2400	51	8	2408	01	3	-	-
114	12	3	2403	2408	11	5	2413	01	-	-	5
115	2	0	2403	2413	13	5	2418	01	10	-	-
116	24	5	2408	2418	62	8	2426	01	-	-	10
117	19	4	2412	2422	65	8	2430	02	-	-	10
118	87	26	2438	2438	81	25	2463	01	12	-	-
119	24	5	2443	2443	32	5	2448	02	-	13	-

n	Ran- dom 1	Lapso en- tre de- tenciones (cH)	Hora de deten- ción	Hora de aten- ción	Random 2	Tiempo de atención (cH)	Hora de condu- ción del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de es- pera del operario 01 (cH)	Tiempo de es- pera del operario 02 (cH)	Tiempo de espera máquina (cH)
120	81	23	2466	2466	11	5	2471	01	3	-	-
121	41	9	2475	2475	7	5	2480	02	-	27	-
122	63	16	2491	2491	55	8	2499	01	20	-	-
123	92	30	2521	2521	39	5	2526	02	-	41	-
124	29	6	2527	2527	81	25	2552	01	28	-	-
125	18	4	2531	2531	3	5	2536	02	-	5	-
126	52	12	2543	2543	41	8	2551	02	-	7	-
127	15	3	2546	2552	63	8	2560	01	-	-	6
128	37	8	2554	2554	84	25	2579	02	-	3	-
129	21	4	2558	2560	89	33	2593	01	-	-	1
130	64	16	2574	2579	27	5	2584				
131	32	7	2581	2584							
132	23										
270	88	27	2613	2613	42	8	2621	01	20	-	-
271	75	21	2634	2634	33	5	2639	02	-	37	-
272	58	14	2648	2648	28	5	2653	01	27	-	-
273	30	6	2654	2654	96	42	2696	02	-	15	-
274	66	17	2671	2671	73	25	2696	01	18	-	-
									Σ	2,036	2,130
											278

$$\sum esp_{maq} = \frac{278cH}{2días} \times \frac{1H}{100cH} = 1.39 \frac{HM}{día}$$

$$\sum esp_{ope} = \frac{(2036+2130)cH}{2días} \times \frac{1H}{100cH} = 20.83 \frac{HM}{día}$$

$$\text{Costo de Cola} = 1.39 \frac{HM}{día} \times 20.80 \frac{\$}{HM} + 20.83 \frac{HH}{día} \times 2.00 \frac{\$}{HH} = 70.57 \frac{\$}{día}$$

Paso 5: Con la misma u otra simulación se efectúan los cálculos de $\sum esp_{maq}$ y $\sum esp_{ope}$ para igual lapso de dos días contando con tres operarios en cada turno (O_1 , O_2 , y O_3).

n	Random 1	Lapso en- tre de- tenciones (ch)	Hora de deten- ción	Hora de aten- ción	Random 2	Tiempo de atención (ch)	Hora de conclu- sión del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de es- pera del operario 01 (ch)	Tiempo de es- pera del operario 02 (ch)	Tiempo de es- pera del operario 03 (ch)	Tiempo de espera máquina (ch)
	Inicio de Labores 700											
1	83	24	724	724	56	8	732	01	24	-	-	-
2	27	6	730	730	4	5	735	02	-	30	-	-
3	20	9	739	739	75	25	764	02	-	-	39	-
4	83	25	764	764	95	42	806	01	32	-	-	-
5	68	19	783	783	63	8	791	02	-	48	-	-
6	22	5	788	788	73	25	813	02	-	-	24	-
7	49	13	801	801	77	25	826	02	-	10	-	-
8	7	0	801	806	29	5	811	01	-	-	-	5
9	48	12	813	813	82	25	838	01	-	2	-	-
10	92	30	843	843	83	25	868	03	-	-	20	-
11	64	17	860	860	97	42	902	02	-	34	-	-
12	51	13	873	873	88	25	898	01	35	-	-	-
13	99	45	918	918	46	8	926	03	-	-	50	-
14	76	22	940	940	54	8	948	01	42	-	-	-
15	84	24	964	964	39	5	969	02	-	62	-	-
16	22	5	969	969	91	33	1002	01	21	-	-	-
17	47	11	980	980	28	5	985	03	-	-	54	-
18	26	6	986	986	38	5	991	02	-	17	-	-
19	51	12	998	998	18	5	1003	03	-	-	13	-
20	18	4	1002	1002	57	8	1010	02	-	11	-	-
21	3	0	1002	1002	34	5	1007	01	-	-	-	-
22	56	14	1016	1016	85	25	1041	03	-	-	13	-
23	99	45	1061	1061	14	5	1066	01	54	-	-	-
24	15	3	1064	1064	13	5	1069	02	-	54	-	-
25	98	47	1111	1111	59	8	1119	02	-	-	70	-
26	51	13	1124	1124	92	33	1157	01	58	-	-	-
27	96	47	1171	1171	66	8	1179	02	-	102	-	-
28	33	7	1178	1178	41	8	1186	03	-	-	59	-
29	71	19	1197	1197	74	25	1222	01	40	-	-	-
30	3	0	1197	1197	46	8	1205	02	-	18	-	-
31	4	0	1197	1205	26	5	1210	03	-	-	11	-
32	92	28	1225	1225	39	5	1230	02	-	-	23	-
33	44	11	1236	1236	55	8	1240	02	-	31	-	-
34	64	17	1253	1253	48	8	1261	01	31	-	-	-
35	42	10	1263	1263	85	25	1298	03	-	-	33	-
36	4	0	1263	1263	39	5	1268	02	-	19	-	-
37	43	11	1274	1274	59	8	1282	01	13	-	-	-
38	2	0	1274	1282	16	5	1287	02	-	6	-	-
39	24	6	1280	1287	92	33	1320	02	-	1	-	-
40	76	21	1301	1301	31	5	1306	01	19	-	-	-
41	77	22	1323	1323	37	5	1328	03	-	-	35	-
42	98	50	1373	1373	20	5	1378	01	67	-	-	-
43	77	22	1395	1395	6	5	1400	02	-	82	-	-
44	74	20	1415	1415	49	8	1423	03	-	-	87	-
45	34	7	1422	1422	55	8	1430	01	44	-	-	-
46	87	27	1449	1449	42	8	1457	02	-	49	-	-
47	42	11	1460	1460	17	5	1465	03	-	-	37	-
48	98	50	1510	1510	70	25	1535	01	80	-	-	-

n	Random 1	Lapso entre detenciones (cH)	Hora de detención	Hora de atención	Random 2	Tiempo de atención (cH)	Hora de conducción del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de es- pera del operario 01 (cH)	Tiempo de es- pera del operario 02 (cH)	Tiempo de es- pera del operario 03 (cH)	Tiempo de espera máquina (cH)
49	9	1	1511	1511	19	5	1516	02	-	54	-	-
50	60	16	1527	1527	91	33	1560	03	-	-	62	-
51	19	4	1531	1535	80	25	1560	01	-	15	-	-
52	73	21	1552	1560	47	8	1568	01	17	-	-	-
53	97	48	1600	1600	79	25	1625	02	-	44	-	-
54	89	27	1627	1627	30	5	1632	03	-	-	67	-
55	15	4	1631	1631	38	5	1636	01	71	-	-	-
56	10	2	1633	1633	100	50	1683	02	-	8	-	-
57	58	15	1648	1648	62	8	1656	03	-	-	16	-
58	81	22	1670	1670	65	8	1678	01	34	-	-	-
59	75	20	1690	1690	29	5	1695	03	-	-	34	-
60	15	3	1693	1693	60	8	1701	01	15	-	-	-
61	3	0	1693	1695	23	5	1700	02	-	10	-	-
62	16	4	1697	1700	98	42	1742	03	-	-	2	-
63	51	12	1709	1709	1	5	1714	02	-	11	-	-
64	34	7	1716	1716	1	5	1721	01	15	-	-	-
65	59	15	1731	1731	1	5	1736	02	-	17	-	-
66	12	2	1733	1736	2	5	1741	01	12	-	-	-
67	65	17	1750	1750	8	5	1755	02	-	14	-	-
68	4	0	1750	1750	59	8	1758	01	12	-	-	-
69	32	7	1757	1757	71	25	1782	03	-	-	18	-
70	91	31	1788	1788	5	5	1793	02	-	33	-	-
71	36	8	1796	1796	35	5	1801	01	38	-	-	-
72	28	6	1802	1802	39	5	1807	03	-	-	20	-
73	62	16	1818	1818	46	8	1826	02	-	25	-	-
74	47	11	1829	1829	54	8	1837	01	28	-	-	-
75	88	28	1857	1857	12	5	1862	03	-	-	50	-
76	2	0	1857	1857	96	42	1899	02	-	31	-	-
77	51	12	1869	1869	41	8	1877	01	32	-	-	-
78	66	18	1887	1887	56	8	1895	03	-	-	25	-
79	20	4	1895	1895	36	5	1900	01	14	-	-	-
80	7	0	1891	1899	90	33	1932	03	-	-	-	4
81	93	31	1922	1922	70	25	1947	01	16	-	-	-
82	32	7	1929	1932	78	25	1957	02	-	30	-	-
83	85	25	1954	1954	79	25	1979	03	-	-	26	-
84	89	28	1982	1982	84	25	2007	01	35	-	-	-
85	28	6	1988	1988	4	5	1993	02	-	34	-	-
86	84	24	2012	2012	1	5	2017	03	-	-	33	-
87	79	22	2034	2034	92	33	2067	02	-	41	-	-
88	32	7	2041	2041	82	25	2066	01	34	-	-	-
89	83	24	2065	2065	59	8	2074	03	-	-	48	-
90	24	6	2071	2071	58	8	2079	01	5	-	-	-
91	17	4	2075	2075	47	8	2083	02	-	8	-	-
92	74	21	2096	2096	9	5	2101	03	-	-	23	-
93	85	25	2121	2121	51	8	2129	01	42	-	-	-
94	60	15	2136	2136	73	25	2161	02	-	53	-	-
95	49	12	2148	2148	20	5	2153	03	-	-	47	-
96	68	18	2166	2166	83	25	2191	01	37	-	-	-
97	98	38	2204	2204	2	5	2209	03	-	-	51	-

n	Random 1	Lapso en- tre de- tenciones (cH)	Hora de deten- ción	Hora de alon- ción	Random 2	Tiempo de atención (cH)	Hora de condu- cción del servicio	Operario asignado al servicio	Tiempo de es- pera del operario n1 (cH)	Tiempo de es- pera del operario n2 (cH)	Tiempo de es- pera del operario n3 (cH)	Tiempo de espera máquina (cH)
98	4	0	2204	2204	56	8	2212	02	-	43	-	-
99	48	12	2216	2216	98	42	2258	01	25	-	-	-
100	52	13	2229	2229	37	5	2234	03	-	-	20	-
101	55	14	2243	2243	40	5	2248	02	-	31	-	-
102	29	6	2249	2249	84	8	2257	03	-	-	15	-
103	53	13	2262	2262	97	42	2304	02	-	14	-	-
104	6	0	2262	2262	54	8	2270	03	-	-	5	-
105	57	14	2276	2276	1	5	2281	01	18	-	-	-
106	73	20	2296	2296	17	5	2301	03	-	-	26	-
107	46	11	2307	2307	19	5	2312	02	-	3	-	-
108	90	28	2335	2335	81	25	2360	01	54	-	-	-
109	29	6	2341	2341	68	25	2366	03	-	-	40	-
110	60	15	2356	2460	31	5	2365	02	-	44	-	-
111	83	24	2380	2380	96	42	2422	01	20	-	-	-
112	49	12	2392	2392	27	5	2392	02	-	31	-	-
113	35	8	2400	2400	51	8	2408	03	-	-	34	-
114	12	3	2403	2408	11	5	2413	02	-	6	-	-
115	2	0	2403	2413	13	5	2418	03	-	-	-	-
116	24	5	2408	2418	62	8	2428	02	-	-	-	5
117	19	4	2412	2422	65	8	2430	03	-	-	-	-
118	87	26	2438	2438	81	25	2463	02	-	22	-	1
119	24	5	2443	2443	32	5	2448	03	-	-	22	-
120	81	23	2466	2468	11	5	2471	01	44	-	-	-
121	41	9	2475	2475	7	5	2480	03	-	-	27	-
122	63	16	2491	2491	55	8	2499	02	-	28	-	-
123	92	30	2521	2521	39	5	2526	01	50	-	-	-
124	29	6	2527	2527	81	25	2552	03	-	-	47	-
125	18	4	2531	2531	3	5	2536	02	-	32	-	-
126	52	12	2543	2543	41	8	2551	01	17	-	-	-
127	15	3	2546	2552	63	6	2560	02	-	10	-	-
128	37	8	2554	2554	84	25	2578	01	3	-	-	-
129	21	4	2558	2558	89	33	2591	03	-	-	6	-
130	64	16	2474	2574	27	5	2578					
131	32	7	2581	2581								
270	88	27	2613	2613	42	8	2621	01	27	-	-	-
271	75	21	2634	2634	33	5	2639	03	-	-	43	-
272	58	14	2648	2648	28	5	2653	02	-	54	-	-
273	30	6	2654	2654	96	42	2696	01	33	-	-	-
274	66	17	2671	2671	73	25	2696	03	-	-	32	-
									2640	2698	2834	30

$$\Sigma \text{esp}_{\text{maq}} = \frac{30 \text{ cH}}{2 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ H}}{100 \text{ cH}} = 0.15 \frac{\text{HM}}{\text{día}}$$

$$\Sigma \text{esp}_{\text{ops}} = \frac{(2640 + 2698 + 2834) \text{ cH}}{2 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ H}}{100 \text{ cH}} = 40.86 \frac{\text{HH}}{\text{día}}$$

$$\text{Costo de Cola} = 0.15 \frac{\text{HM}}{\text{día}} \times 20.80 \frac{\$}{\text{HM}} + 40.86 \frac{\text{HH}}{\text{día}} \times 2.00 \frac{\$}{\text{HH}} = 84.84 \frac{\$}{\text{día}}$$

Paso 6:

Operarios (H)	Espera de máquina (HM/día)	Espera de operario (HH/día)	Costo de cola por $esp_{máq}$ (\$/día)	Costo de cola por esp_{ope} \$/día)	Costo total de cola (\$/día)
1	48.39	1.93	1,006.51	3.86	1,010.37
2	1.39	20.83	28.91	41.66	70.57
3	0.15	40.86	3.12	81.72	84.84
4					

El mínimo costo de cola se obtiene asignando dos operarios/turno a la atención del enjambre.

Otras aplicaciones

En la sección resinas fenólicas de una fábrica de cajas aislantes se cuenta con un enjambre de 12 prensas para efectuar el moldeado y horneado de piezas distintas de baquelita. Según la característica de los moldes, tiempos tecnológicos y manuales son distintos. La ponderación para el mix de producción previsto resultó la siguiente:

Tiempo tecnológico min	Frecuencia (%)
20	1.7
21	5
22	10
23	15
24	26.7
25	21.7
26	11.7
27	5
28	1.7
30	1.5

$$\bar{T}_1 = 24.2 \text{ min.máq/Hr}$$

Tiempo manual min	Frecuencia (%)
2.5 a 3.49	51
3.5 a 4.49	41
4.5 a 5.49	6
5.5 a 6.49	2

$$\bar{T}_m = 3.6 \text{ min.maq /Hr}$$

Interesa conocer los tiempos de interferencia T_i en la asignación de dos, tres, cuatro o seis máquinas a un operador, mediante las correspondientes simulaciones.

Prioridades en el procesamiento de órdenes de trabajo, regla Covert

- Utilización** Para establecer, en función de la fecha prometida de entrega, el orden de procesamiento que deben respetar los supervisores seccionales en caso de recibir varios pedidos para una misma estación de trabajo.
- Teoría** Carga de máquinas. Teoría de decisiones. Algoritmo de D.C. Carroll.
- Bibliografía** BUFFA, E. *Sistemas de producción e inventario; planeación y control*. 7a. edición. México: Limusa, 1992, p. 375.
- Modelo práctico** En una molinera, el día 100 (de los días laborables del año) debe efectuarse la reprogramación definiendo el orden de procesamiento de los pedidos en cartera.

Pedido (registrado por orden de llegada)	Tiempo estándar de trituración (en días) t_i	Tiempo mínimo de procesamiento (en días) Σt_i	Tiempo normal de procesamiento (en días) $\Sigma (t_i + q_i)$	Fecha de entrega del pedido prevista en la orden de trabajo d
1	1	5	15	83
2	6	29	60	130
3	2	8	22	115
4	1	7	20	120
5	8	41	80	160
6	2	9	25	130
7	4	20	38	131

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Existen diferentes criterios para establecer prioridades en el procesamiento de órdenes de trabajo (O/T).

1. Preferencia
2. Importancia del cliente
3. *Fecha prometida de entrega*
4. *Orden de llegada de los pedidos*
5. Disponibilidad de insumos
6. Nivel de inventario
7. Magnitud del pedido
8. Margen de utilidad esperado
9. Sencillez del trabajo
10. *Rapidez de ejecución de la operación encomendada*

Los criterios 3, 10 y 4 han dado origen a las reglas Covert (Costos vs. tiempos), SOT ("Shortest Operating Time") y FIFO ("First in First Out").

La regla FIFO se basa en el criterio de que el trabajo que llegue primero al centro de trabajo se procesará primero. E. Legrande demostró que esta regla de uso muy común tiene un desempeño muy pobre.

La regla SOT selecciona el trabajo de menor tiempo de proceso en la primera operación, basándose en la investigación de Y. Nanot: cuando en una estación la orden se termina rápidamente, las estaciones siguientes recibirán pronto los trabajos, produciéndose una alta tasa de flujo y una alta utilización. Se demostró que esta técnica tiene el efecto adverso de que los trabajos prolongados esperan en la cola y pueden no llegar a ser procesados.

En la práctica la fecha prometida de entrega es más importante que la eficiencia y el tiempo de flujo. Por ello se recomienda la aplicación de la regla Covert de uso general, caracterizada por la razón del costo de la demora al tiempo de procesamiento. Se basa en el algoritmo de D.C. Carroll del diagrama de flujo adjunto.

Las variables a utilizar en Covert son:

T	=	Fecha en que se priorizan los trabajos en cartera
d	=	Fecha de entrega prevista
t_i	=	Tiempo estándar de procesamiento de la operación "i"
q_i	=	Tiempo de espera de la operación "i"
N	=	$d - \sum(t_i + q_i)$ = Fecha de la iniciación normal
U	=	$d - \sum t_i$ = Fecha de iniciación urgente
H	=	$U - T$ = Holgura
D	=	$U - N$ = Tiempo de espera estimado

C = Tardanza marginal (costo de demora esperado y calculable según instrucciones del diagrama de flujo)

$$\pi = \frac{C}{\sum t_i} \times 100 = \text{Índice de prioridad}$$

Calculando la tardanza marginal C y el índice de prioridad π resulta:

Pedido	Fecha de iniciación normal $N = d - \sum (t_i + q)$	Fecha de iniciación urgente $N = d - \sum t_i$	Tiempo de espera estimado $D = U - N$	Holgura $H = U - T$	Tardanza marginal C	Índice de prioridad π (%)
1	68	78	10	-22	1.00	20.00
2	70	101	31	1	0.97	3.34
3	93	107	14	7	0.50	6.25
4	100	113	13	13	0.00	0.00
5	80	119	39	19	0.51	1.24
6	105	121	16	21	0.00	0.00
7	93	111	18	11	0.39	1.94

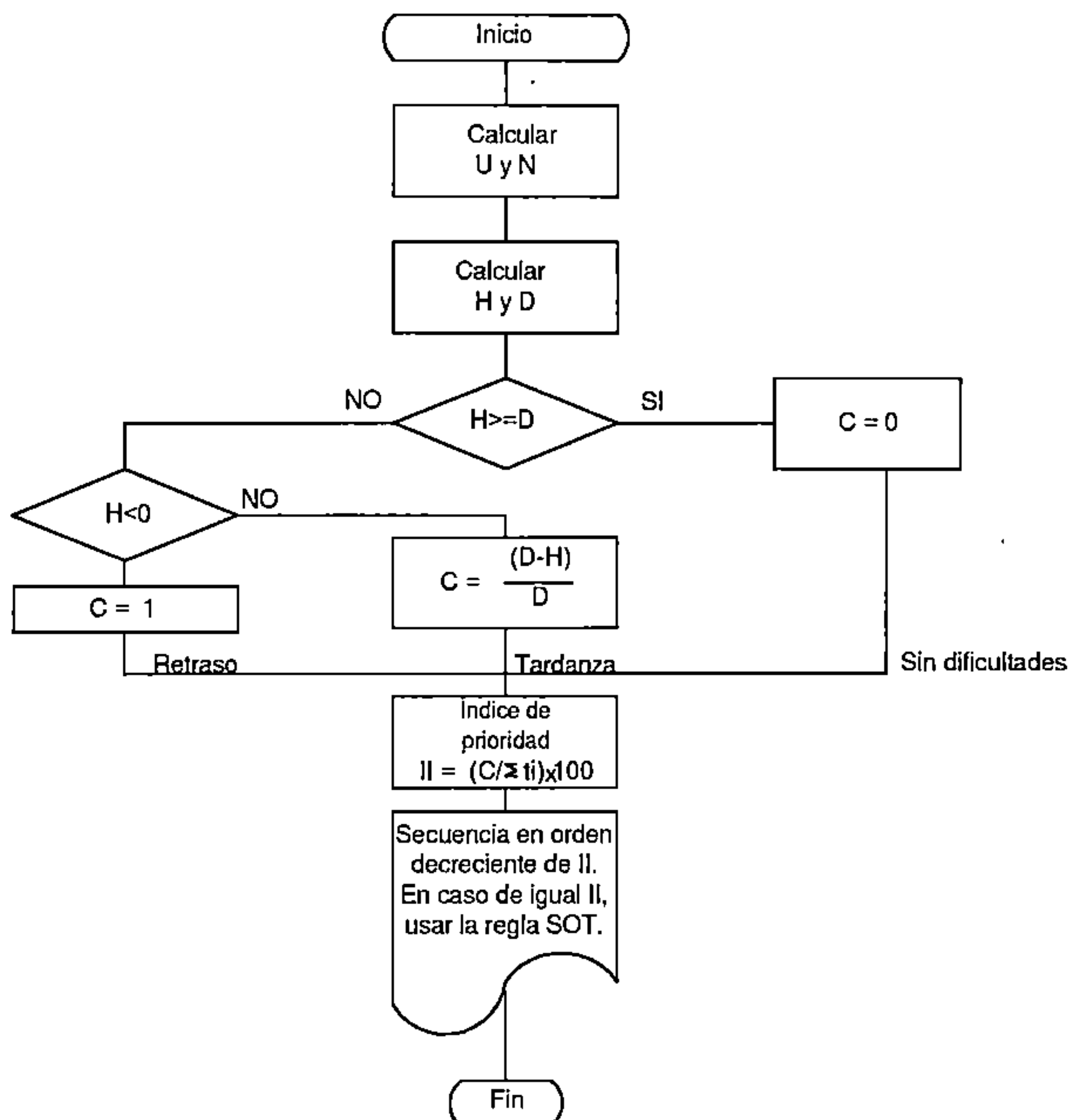
Se confecciona un listado para conocimiento de los supervisores con la siguiente secuencia de procesamiento de las O/T:

1 - 3 - 2 - 7 - 5 - 4 - 6

La regla de decisión aplicada ha sido procesar la O/T de mas alto índice de prioridad π (Covert). En caso de igual π , procesar primero lo de menor tiempo de procesamiento (t_i) en la estación "1" (SOT), en caso de igual t_i procesar primero la más antigua (FIFO).

En el modelo, los pedidos 4 y 6 tienen igual π pero el t_i de 4 es menor que el de 6 por lo que se procesará antes.

Algoritmo de la regla de decisión Covert



Asignación de pedidos a máquinas, método del indicador

Utilización	En las diferentes secciones de industrias con disposición funcional de maquinaria se presenta frecuentemente la disyuntiva de decidir a cuál o cuáles de las máquinas asignar la ejecución de uno de los trabajos previstos en la hoja de ruta de la O/T correspondiente, frente a la problemática de deber atender toda una cartera de pedidos, con la mayor eficiencia posible, dentro del período sujeto a programación, lo que limita las horas/máquina disponibles. Definiendo un "indicador" de la eficiencia de cada máquina en la realización de cada trabajo es posible establecer un método para la distribución de los pedidos ("carga de máquinas"). El indicador puede ser de costo, calidad o tiempo.
Teoría	Carga de máquinas. Método índice de REINFELD & VOGEL.
Bibliografía	BIEGEL, J. <i>Control de producción: Procedimiento cuantitativo</i> . 8a. edición. México: Herrero Hnos., 1978, p. 145.
Modelo práctico	En la sección "Golpeo" de una fábrica de clavos existen cuatro grupos de prensas automáticas: A(dos máquinas), B(una máquina), C(una máquina) y D (tres máquinas) de características distintas de potencia y velocidad de procesamiento. La gerencia de producción a sabiendas de que una pequeña o mediana empresa no puede permitirse el lujo de disponer de personal a tiempo completo para el planeamiento y control de la producción, desea introducir el método del indicador para contar con un sistema experto de programación mensual sencillo y rápido para su gama de productos, aplicándolo a los pedidos de ventas del mes que se inicia, considerando las existencias en su almacén de productos terminados.

O/T	Clavos	Magnitud del pedido	Prioridad
1	ccc ¾" x BWG 17	200 cajones	4 ^{ta}
2	csc 1" x BWG 17	400 cajones	2 ^{da}
3	ccc 1 ½" x BWG 15	200 cajones	3 ^{ra}
4	ccc 3" x BWG 10	100 cajones	5 ^{ta}
5	ccc 4" x BWG 7	500 cajones	1 ^{ra}

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Considerando la gama total de productos procesables por la sección se confecciona una tabla de tiempos estándar y un indicador de eficiencia para la realización del trabajo, conformando un cuadro que permita adicionar nuevos productos y efectuar la programación periódica sobre una copia impresa del mismo.

O/T	Gama de productos	Cantidad	Grupo A			Grupo B			Grupo C			Grupo D		
			Hr/ cajón	Indicador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	Indicador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	Indicador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	Indicador	Hr/ pedido
	3/4" x BW G17		1.00	1,11		0.90	1.00		1.10	1,22		-	-	
	1" x BW G17		0.90	1,06		0.85	1.00		0.96	1,13		1.00	1,18	
	1 1/2" x BW G15		0.61	1.00		-	-		0.70	1,15		0,82	1,34	
	1 1/2" x BW G14		0.60	1.00		0.60	1.00		0.70	1,17		0.80	1,33	
	3" x BW G10		0.35	1,03		0.34	1.00		0.40	1,18		-	-	
	3" x BWG 09		-	-		-	-		0.40	1.00		0.50	1,25	
	4" x BWG 07		0.20	1.00		0.21	1,05		0.25	1,25		0,36	1,80	
	5" x BWG 05		0.15	1.50		0.10	1.00		0.25	2.00		0,25	2.50	
Horas laborales														
Horas disponibles														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Hd luego de asignar ... a ...														
Horas utilizadas														
Grado de saturación de máquina														

El indicador (índice) fue establecido en este caso de la siguiente manera: al equipo cuyo índice de producción es el más elevado, para un pedido se le da un indicador 1.00, el que sigue en índice de producción tendrá un indicador igual a las horas necesarias en esta máquina dividida por las horas de la

mejor máquina. Así, por ejemplo, para el pedido 1, la mejor máquina corresponde al grupo B con 0.9 Hr/cajón con un indicador de 1.00, el grupo de máquinas A tendrá un indicador de $\frac{1.00}{0.90} = 1.11$ y el

grupo C: $\frac{1.10}{0.90} = 1.22$

Paso 2: Sobre una copia impresa de la tabla se registran los pedidos del mes y se calculan las horas necesarias por pedido en cada grupo de máquinas.

De las 384 horas laborales por el grupo A, se deben reservar 84 horas para terminar pedidos atrasados del mes anterior, por lo que sólo quedan 300 horas disponibles en el mes. La tabla queda así:

O/T	Gama de Productos	Cantidad	Grupo A			Grupo B			Grupo C			Grupo D		
			Hr/ cajón	Indi- cador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	Indi- cador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	Indi- cador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	Indi- cador	Hr/ pedido
1	3/4"xBW G17	200	1.00	1.11	200	0.90	1.00	180	1.10	1.22	220	-	-	-
2	1"xBW G17	400	0.90	1.06	360	0.85	1.00	340	0.96	1.13	384	1.00	1.18	400
3	1 1/2"xBW G15	200	0.61	1.00	122	-	-	-	0.70	1.15	140	0.82	1.34	164
	1 1/2"xBW G14		0.60	1.00		0.60	1.00		0.70	1.17		0.80	1.33	
4	3"xBW G10	100	0.35	1.03	35	0.34	1.00	34	0.40	1.18	40	-	-	-
	3"xBWG 09		-	-		-	-		0.40	1.00		0.50	1.25	
5	4"xBWG 07	500	0.20	1.00	100	0.21	1.05	105	0.25	1.25	125	0.36	1.80	180
	5"xBWG 05		0.15	1.50		0.10	1.00		0.25	2.00		0.25	2.50	
Horas laborales			384			192			192			576		
Horas disponibles			300			192			192			576		
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Horas utilizadas														
Grado de Saturación de Máquina														

Paso 3: Se asignan (respetando las prioridades establecidas por ventas) los pedidos a los grupos de máquinas con indicador más bajo, siempre y cuando se disponga de horas suficientes; en caso contrario se recurre el grupo de máquinas de menor indicador siguiente. Así por ejemplo el pedido 5 se asignará al grupo de máquinas A por tener el indicador más bajo (1.00) y, consecuentemente, sus horas disponibles se reducirán a $300 - 100 = 200$ horas.

Procediendo de la misma manera se asigna el resto de pedidos quedando finalmente la tabla así:

O/T	Gama de productos	Cantidad	Grupo A			Grupo B			Grupo C			Grupo D		
			Hr/ cajón	ind- cador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	ind- cador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	ind- cador	Hr/ pedido	Hr/ cajón	ind- cador	Hr/ pedido
1	3/4"xBWG17	200	1.00	1.11	200	0.90	1.00	180	1.10	1.22	220	-	-	-
2	1"xBWG17	400	0.90	1.06	360	0.85	1.00	340	0.96	1.13	384	1.00	1.18	400
3	1 1/2"xBWG15	200	0.61	1.00	122	-	-	-	0.70	1.15	140	0.82	1.34	164
	1 1/2"xBWG14		0.60	1.00		0.60	1.00		0.70	1.17		0.80	1.33	
4	3"xBWG10	100	0.35	1.03	35	0.34	1.00	34	0.40	1.18	40	-	-	-
	3"xBWG09		-	-		-	-		0.40	1.00		0.50	1.25	
5	4"xBWG07	500	0.20	1.00	100	0.21	1.05	105	0.25	1.25	125	0.36	1.80	180
	5"xBWG05		0.15	1.50		0.10	1.00		0.25	2.00		0.25	2.50	
Horas laborales			384			192			192			576		
Horas disponibles			300			192			192			576		
Hd luego de asignar ... a			200			192			192			176		
Hd luego de asignar ... a			200			192			192			176		
Hd luego de asignar ... a			78			192			192			176		
Hd luego de asignar ... a			78			12			192			176		
Hd luego de asignar ... a			43			12			192			176		
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Hd luego de asignar ... a														
Horas utilizadas			257			180			0			400		
Grado de saturación de máquina			85,60%			93,70%			0,00%			69,40%		

Paso 4: La carga de máquinas para el mes será la siguiente:

Grupo de máquinas	Asignación de O/T	HM
A	5 - 3 - 4	257
B	1	180
C		0
D	2	400
	Total	837

El tiempo total de HM que habrá de utilizarse es 837 horas siendo este el mínimo posible (se ha aplicado un método de teoría de la optimización).

Asignación de pedidos a máquinas, método MIM

Utilización El método índice ha sido modificado (MIM) simplificándolo para su aplicación a casos en que sólo se tenga en cuenta el tiempo necesario para hacer el trabajo según la máquina a la que se asigne.

El método es de mayor rigidez que el índice, por cuanto la asignación de los pedidos se efectúa sin criterio en cuanto a prioridad se refiere.

Teoría Carga de máquinas. Teoría de la optimización.

Bibliografía HOFFMAN, T. *Producción: Sistemas de administración y fabricación*. México: Continental, 1976, p. 446.

Modelo práctico La fábrica de clavos XX desea programar para el mes que se inicia la producción de:

Cajones	Clavos	Horas-máquina necesarias			
		A	B	C	D
200	ccc 3/4" x BWG 17	200	180	220	0
400	ccc 1" x BWG 17	360	340	384	400
200	ccc 1 1/2" x BWG 15	122	0	140	164
100	ccc 3" x BWG 10	35	34	40	0
500	cc 4" x BWG 7	100	105	125	180
Horas-máquina disponibles		300	192	192	576

¿En qué máquinas y en qué orden deben procesarse los pedidos?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se examina *cada* pedido y se determina la diferencia entre el tiempo que llevaría realizarlo en la máquina más rápida y la que la sigue en velocidad.

Pedido	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Diferencia
1	200	180	220	-	20
2	360	340	384	400	20
3	122	-	140	164	18
4	35	34	40	-	1
5	100	105	125	180	5
Hd	300	192	192	576	

Paso 2: El pedido que posea la mayor diferencia será asignado a su mejor alternativa. En este caso los pedidos 1 y 2 poseen la mayor diferencia, que es 20. Se asignará primero el pedido 1 por poseer el tiempo de procesamiento menor (regla SOT) al grupo de máquinas B, quedando sólo 12 horas disponibles.

Pedido	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	1° diferencia
1	200	180	220	-	20
2	360	340	384	400	20
3	122	-	140	164	18
4	35	34	40	-	1
5	100	105	125	180	5
Hd	300	192	192	576	
Hd luego de asignar 1 a B	300	12	192	576	

Paso 3: Se examinan los pedidos restantes y si es necesario se recalculan las diferencias nuevamente y se vuelve al paso 2.

En este caso, por falta de disponibilidad de horas en el grupo de máquinas B (que se elimina del cuadro), es necesario establecer una segunda diferencia entre los cuatro pedidos restantes.

Pedido	Grupo				Diferencias		Asignación
	A	B	C	D	1ra	2da	
1	200	180	220	-	20	-	Primera
2	360	340	384	400	20	24	Tercera
3	122	-	140	164	18	18	Cuarta
4	35	34	40	-	1	5	Quinta
5	100	105	125	180	5	25	Segunda
Horas disponibles (Hs)	300	192	192	576			
Hd luego de asignar 1 a B	300	12	192	576			
Hd luego de asignar 5 a A	200	12	192	576			
Hd luego de asignar 2 a D	200	12	192	176			
Hd luego de asignar 3 a A	78	12	192	176			
Hd luego de asignar 4 a A	43	12	192	176			
Horas utilizadas	257	180	0	400			
Grado de saturación de máquina	85.6%	93.7%	0.0%	69.4%			

Observando la segunda diferencia, resulta que el pedido 5 posee el valor más elevado, por lo que se le asigna al grupo A quedando reducidas a 200 las horas disponibles de este grupo.

La siguiente asignación será el pedido 2; el único grupo de máquinas disponibles para procesar este pedido es el D; por lo que se realiza la asignación a pesar de no ser su mejor alternativa quedando las horas disponibles reducidas a 176.

Luego, el pedido 3 se asigna a su mejor alternativa: el grupo A, y finalmente el pedido 4 es asignado también al grupo A.

La mejor carga de máquinas para el mes será la siguiente (el menor número de HM).

Grupo de máquinas	Asignación de O/T	HM
A	5 - 3 - 4	257
B	1	180
C		0
D	2	400
		837

Programación de órdenes de trabajo de igual secuencia operativa

- Utilización** Si se cuenta con una cartera de órdenes de trabajo, de igual "ruta" operativa, esperando turno frente a la línea de producción correspondiente, se puede definir el orden de procesamiento que minimiza el tiempo total necesario.
- Teoría** Investigación operativa. Teorías de optimización y redes. Algoritmos de Ignall, Schrage & Lomnicki y de S.M. Johnson.
- Bibliografía** RIGGS, J. *Sistemas de producción: Planeación, análisis y control*. México: Limusa, 1976, p. 365.
- Modelo práctico** Una fábrica de jaleas y mermeladas recibe en la estación de cosecha 12 toneladas de membrillos, 12 toneladas de mangos, 10 toneladas de fresas y 15 toneladas de manzanas; frutas que deben ser decortezadas y despepadas en el equipo 1, molidas en el equipo 2, y cocidas en el equipo 3. La fábrica trabaja 24 horas al día con una eficiencia del 70%.

Tsd (HM / ton de fruta a procesar)				
	Productos	Máq. 1	Máq. 2	Máq. 3
A	Jalea de membrillo	4.16	5.56	13.96
B	Mermelada de mango	2.76	4.16	11.16
C	Mermelada de fresa	16.75	3.31	6.67
D	Mermelada de manzana	5.57	4.45	4.45

Importa establecer la secuenciación de las O/T (órdenes de trabajo) que minimiza el tiempo total de procesamiento de todas las frutas, evitándose al máximo pérdidas por putrefacción.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Algoritmo de Ignall, Scharge & Lomnicki:

Paso 1: Se confecciona las O/T (órdenes de trabajo) para cada uno de los lotes de fruta (*batches*) a procesar.

Estas órdenes irán acompañadas de sus respectivas hojas de ruta.

Producto		Producción		Orden de Trabajo (O/T)	Cuenta No.	Insumo a Procesar	
		Esperada	Real			Previsto	Real
Jalea de membrillo				A		12 Ton.	
Operación	Descripción	Máquina a emplear	TpM (Hrs - Máq.)	Tst (Hrs-Máq/Ton)	Total Horas máquina		
					Presupuest	Empleadas	
1	Descortezado y Despepado	Máq. 1	1/2	4,16	50.4		
2	Molido	Máq. 2	1/2	5,56	67.2		
3	Cocido	Máq. 3	1/2	13,96	168		
Fecha de Emisión		Prioridad		Fecha de Inicio		Fecha de Entrega	
				Prevista	Real	Prevista	Real
8/12/88				12/12/88		9/01/89	

Paso 2: Se confecciona una matriz de días necesarios para procesar cada O/T. Para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$t = \frac{Tst \times Q + T_{PM}}{H \times \varepsilon}$$

donde

t	:	días necesarios para procesar cada O/T
Tst	:	tiempo estándar o tiempo que demora procesar una tonelada de fruta
Q	:	toneladas que conforman una O/T
H	:	horas trabajadas al día
ε	:	eficiencia

Así por ejemplo para la O/T A se tiene que en la máquina 1 demora:

$$t_{A1} = \frac{4.16 \times 12 + 0.5}{24 \times 0.7} = 3 \text{ días}$$

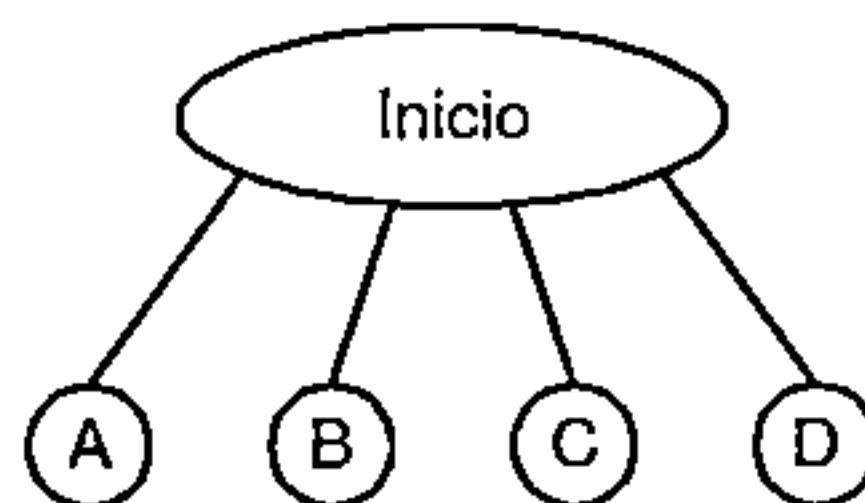
Se procederá de modo similar para hallar el resto de tiempos y se obtendrá la siguiente matriz, la cual será la base de todo el algoritmo:

O/T \ Máq.	1	2	3
A	3	4	10
B	2	3	8
C	10	2	4
D	5	4	4

Paso 3: Los autores proponen su algoritmo de ramificación y acotación para definir la secuencia óptima de "n" trabajos en tres máquinas (haciendo uso del mismo artificio que se empleará en el algoritmo de Johnson, un caso de más máquinas puede convertirse en uno de tres).

El procedimiento va generando un árbol de ramificación. Al momento inicial se ramifican "n" nodos, correspondientes a las "n" posibilidades de asignar el primer lugar de la secuencia a cualquiera de las órdenes de trabajo. De cada nodo se pueden ramificar (N-1) nodos, correspondientes a la posibilidad de asignar el segundo lugar a cualquiera de las (N-1) trabajos restantes, y así sucesivamente hasta terminar con todos los trabajos.

En este caso se tienen cuatro O/T (ABCD) (N=4) y se debe determinar cuál de ellas iniciará la secuencia. El diagrama de ramificación es el siguiente:



Paso 4: El algoritmo posee dos etapas, la primera corresponde al cálculo de los "tiempos acumulados" $T1(J_r)$, $T2(J_r)$ y $T3(J_r)$ que corresponden a los tiempos que completan los trabajos de la secuencia J_r en las máquinas 1, 2 y 3. La secuencia J_r corresponde a un subconjunto de tamaño r de los N trabajos ($1 \leq r \leq N$). Las fórmulas generales son las siguientes:

$$T1(J_r) = T1(J_{r-1}) + t_{r1}$$

$$T2(J_r) = \max \begin{cases} T1(J_r) + t_{r2} \\ T2(J_{r-1}) + t_{r2} \end{cases}$$

$$T3(J_r) = \max \begin{cases} T2(J_r) + t_{r3} \\ T3(J_{r-1}) + t_{r3} \end{cases}$$

Notas:

J_r : secuencia parcial en análisis
 r : indica la posición de una O/T en la secuencia
 Ej. En la secuencia J_r : BAC, $r = 2$ hace referencia a la O/T A.
 J_0 : 0

Aplicando las fórmulas al modelo se tiene:

Secuencia J_r : A, $r = 1$

$$T1(A) = T1(J_0) + t_{A1} = 0 + 3 = 3$$

$$T2(A) = \max \begin{cases} T1(A) + t_{A2} \\ T2(J_0) + t_{A2} \end{cases} = \max \begin{cases} 3 + 4 \\ 0 + 4 \end{cases} = 7$$

$$T3(A) = \max \begin{cases} T2(A) + t_{A3} \\ T3(J_0) + t_{A3} \end{cases} = \max \begin{cases} 7 + 10 \\ 0 + 10 \end{cases} = 17$$

Secuencia $J_r: B, r = 1$

$$T1(B) = T1(J_O) + t_{B1}$$

$$T2(B) = \max \begin{cases} T1(B) + t_{B2} \\ T2(J_O) + t_{B2} \end{cases}$$

$$T3(B) = \max \begin{cases} T2(B) + t_{B3} \\ T3(J_O) + t_{B3} \end{cases}$$

Secuencia $J_r: C, r = 1$

$$T1(C) = T1(J_O) + t_{C1} = 0 + 10 = 10$$

$$T2(C) = \max \begin{cases} T1(C) + t_{C2} \\ T2(J_O) + t_{C2} \end{cases} = \max \begin{cases} 10 + 2 \\ 0 + 2 \end{cases} = 12$$

$$T3(C) = \max \begin{cases} T2(C) + t_{C3} \\ T3(J_O) + t_{C3} \end{cases} = \max \begin{cases} 12 + 4 \\ 0 + 4 \end{cases} = 16$$

Secuencia $J_r: D, r = 1$

$$T1(D) = T1(J_O) + t_{D1} = 0 + 5 = 5$$

$$T2(D) = \max \begin{cases} T1(D) + t_{D2} \\ T2(J_O) + t_{D2} \end{cases} = \max \begin{cases} 5 + 4 \\ 0 + 4 \end{cases} = 9$$

$$T3(D) = \max \begin{cases} T2(D) + t_{D3} \\ T3(J_O) + t_{D3} \end{cases} = \max \begin{cases} 9 + 4 \\ 0 + 4 \end{cases} = 13$$

Paso 5: Una vez calculados los tiempos acumulados de procesamiento (primera etapa) se procede a efectuar la segunda etapa del algoritmo que consiste en calcular las cotas inferiores (CI). Cada nodo del diagrama de ramificación representa una solución parcial que equivale a una cota inferior del tiempo de procesamiento de todas las O/T.

El cálculo de una cota inferior del tiempo total de procesamiento de la secuencia J_r , en un nodo P cualquiera, denotada como $CI(P)$ se calcula con la siguiente fórmula:

$$CI(P) = CI(J_r) = \max \begin{cases} T1(J_r) + \sum_{i \in J_r} t_{i1} + \min \sum_{i \notin J_r} (t_{i2} + T_{i3}) \\ T2(J_r) + \sum_{i \in J_r} t_{i2} + \min \sum_{i \notin J_r} t_{i3} \\ T3(J_r) + \sum_{i \in J_r} t_{i3} \end{cases}$$

Notas: $T1(J_r)$, $T2(J_r)$ y $T3(J_r)$ son los tiempos acumulados calculados en el paso anterior. $\sum_{i \notin J_r} t_{i1}$

es la sumatoria de los que tardan los trabajos que aún no han sido procesados por la máquina 1 y la acotación $\notin$ significa "no pertenece a".

Aplicando la fórmula al modelo se tiene:

$$CI(A) = \max \begin{cases} T1(A) + (t_{B1} + t_{C1} + t_{D1}) + \min(t_{B2} + t_{B3} + t_{C2} + t_{C3} + t_{D2} + t_{D3}) \\ T2(A) + (t_{B2} + t_{C2} + t_{D2}) + \min(t_{B3} + t_{C3} + t_{D3}) \\ T3(A) + (t_{B3} + t_{C3} + t_{D3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 3 + (2 + 10 + 5) + \min(3 + 8, 2 + 4, 4 + 4) & = 26 \\ 7 + (3 + 2 + 4) + \min(8, 4, 4) & = 20 \\ 17 + (8 + 4 + 4) & = 33 \end{cases} = 33$$

$$CI(B) = \max \begin{cases} T1(B) + (t_{A1} + t_{C1} + t_{D1}) + \min(t_{A2} + t_{A3} + t_{C2} + t_{C3} + t_{D2} + t_{D3}) \\ T2(B) + (t_{A2} + t_{C2} + t_{D2}) + \min(t_{A3} + t_{C3} + t_{D3}) \\ T3(B) + (t_{A3} + t_{C3} + t_{D3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 2 + (3 + 10 + 5) + \min(4 + 10, 2 + 4, 4 + 4) & = 26 \\ 5 + (4 + 2 + 4) + \min(10, 4, 4) & = 19 \\ 13 + (10 + 4 + 4) & = 31 \end{cases} = \boxed{31}$$

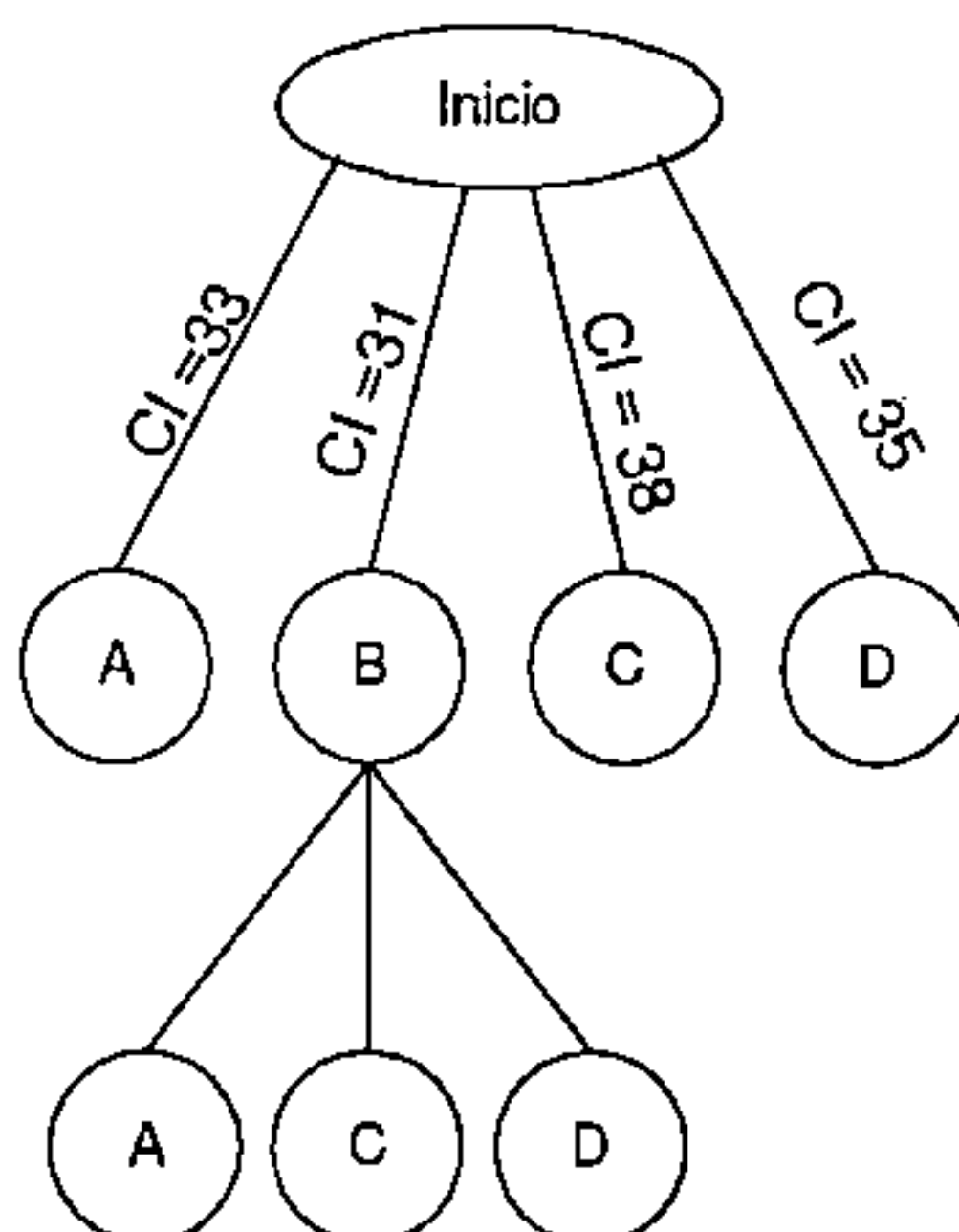
$$CI(C) = \max \begin{cases} T1(C) + (t_{A1} + t_{B1} + t_{D1}) + \min(t_{A1} + t_{A3} + t_{B2} + t_{B3} + t_{D2} + t_{D3}) \\ T2(C) + (t_{A2} + t_{B2} + t_{D2}) + \min(t_{A3} + t_{B3} + t_{D3}) \\ T3(C) + (t_{A3} + t_{B3} + t_{D3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 10 + (3 + 2 + 5) + \min(4 + 10, 3 + 8, 4 + 4) & = 28 \\ 12 + (4 + 3 + 4) + \min(10, 8, 4) & = 27 \\ 16 + (10 + 8 + 4) & = 38 \end{cases} = 38$$

$$CI(D) = \max \begin{cases} T1(D) + (t_{A1} + t_{B1} + t_{C1}) + \min(t_{A1} + t_{A3} + t_{B2} + t_{B3} + t_{C2} + t_{C3}) \\ T2(D) + (t_{A2} + t_{B2} + t_{C2}) + \min(t_{A3} + t_{B3} + t_{C3}) \\ T3(D) + (t_{A3} + t_{B3} + t_{C3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 5 + (3 + 2 + 10) + \min(4 + 10, 3 + 8, 4 + 4) & = 26 \\ 9 + (4 + 3 + 2) + \min(10, 8, 4) & = 22 \\ 13 + (10 + 8 + 4) & = 35 \end{cases} = 35$$

Paso 6: La ramificación debe continuar de aquel nodo que posea la mínima CI. En este caso la mínima CI la tiene la O/T B. El diagrama de ramificación queda así:



Una vez que ha establecido que la O/T B iniciará el proceso, se vuelve al paso 4 para determinar en una segunda iteración la siguiente O/T en la secuencia y así sucesivamente hasta terminar con las cuatro O/T.

Iteración 2

Cálculo de los tiempos acumulados (se procede como en el paso 4).

Secuencia J_r : BA, $r = 2$

$$T1(BA) = T1(B) + t_{A1} = 2 + 3 = 5$$

$$T2(BA) = \max \begin{cases} T1(BA) + t_{A2} \\ T2(B) + t_{A2} \end{cases} = \max \begin{cases} 5 + 4 \\ 5 + 4 \end{cases} = 9$$

$$T3(BA) = \max \begin{cases} T2(BA) + t_{A3} \\ T3(B) + t_{A3} \end{cases} = \max \begin{cases} 9 + 10 \\ 13 + 10 \end{cases} = 23$$

Secuencia J_r: BC, r = 2

$$T1(BC) = T1(B) + t_{c1} = 2 + 10 = 12$$

$$T2(BC) = \max \begin{cases} T1(BC) + t_{c2} \\ T2(B) + t_{c2} \end{cases} = \max \begin{cases} 12 + 2 \\ 5 + 2 \end{cases} = 14$$

$$T3(BC) = \max \begin{cases} T2(BC) + t_{c3} \\ T3(B) + t_{c3} \end{cases} = \max \begin{cases} 14 + 4 \\ 13 + 4 \end{cases} = 18$$

Secuencia J_r: BD, r = 2

$$T1(BD) = T1(B) + t_{d1} = 2 + 5 = 7$$

$$T2(BD) = \max \begin{cases} T1(BD) + t_{d2} \\ T2(B) + t_{d2} \end{cases} = \max \begin{cases} 7 + 4 \\ 5 + 4 \end{cases} = 11$$

$$T3(BD) = \max \begin{cases} T2(BD) + t_{d3} \\ T3(B) + t_{d3} \end{cases} = \max \begin{cases} 11 + 4 \\ 13 + 4 \end{cases} = 17$$

Cálculo de las CI (se procede como en el paso 5).

$$CI(BA) = \max \begin{cases} T1(BA) + (t_{c1} + t_{d1}) + \min(t_{c2} + t_{c3}, t_{d2} + t_{d3}) \\ T2(BA) + (t_{c2} + t_{d2}) + \min(t_{c3}, t_{d3}) \\ T3(BA) + (t_{c3} + t_{d3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 5 + (10 + 5) + \min(2 + 4, 4 + 4) & = 26 \\ 9 + (2 + 4) + \min(4, 4) & = 19 \\ 23 + (4 + 4) & = 31 \end{cases} = \boxed{31}$$

$$CI(BC) = \max \begin{cases} T1(BC) + (t_{A1} + t_{D1}) + \min(t_{A2} + t_{A3}, t_{D2} + t_{D3}) \\ T2(BC) + (t_{A2} + t_{D2}) + \min(t_{A3}, t_{D3}) \\ T3(BC) + (t_{A3} + t_{D3}) \end{cases}$$

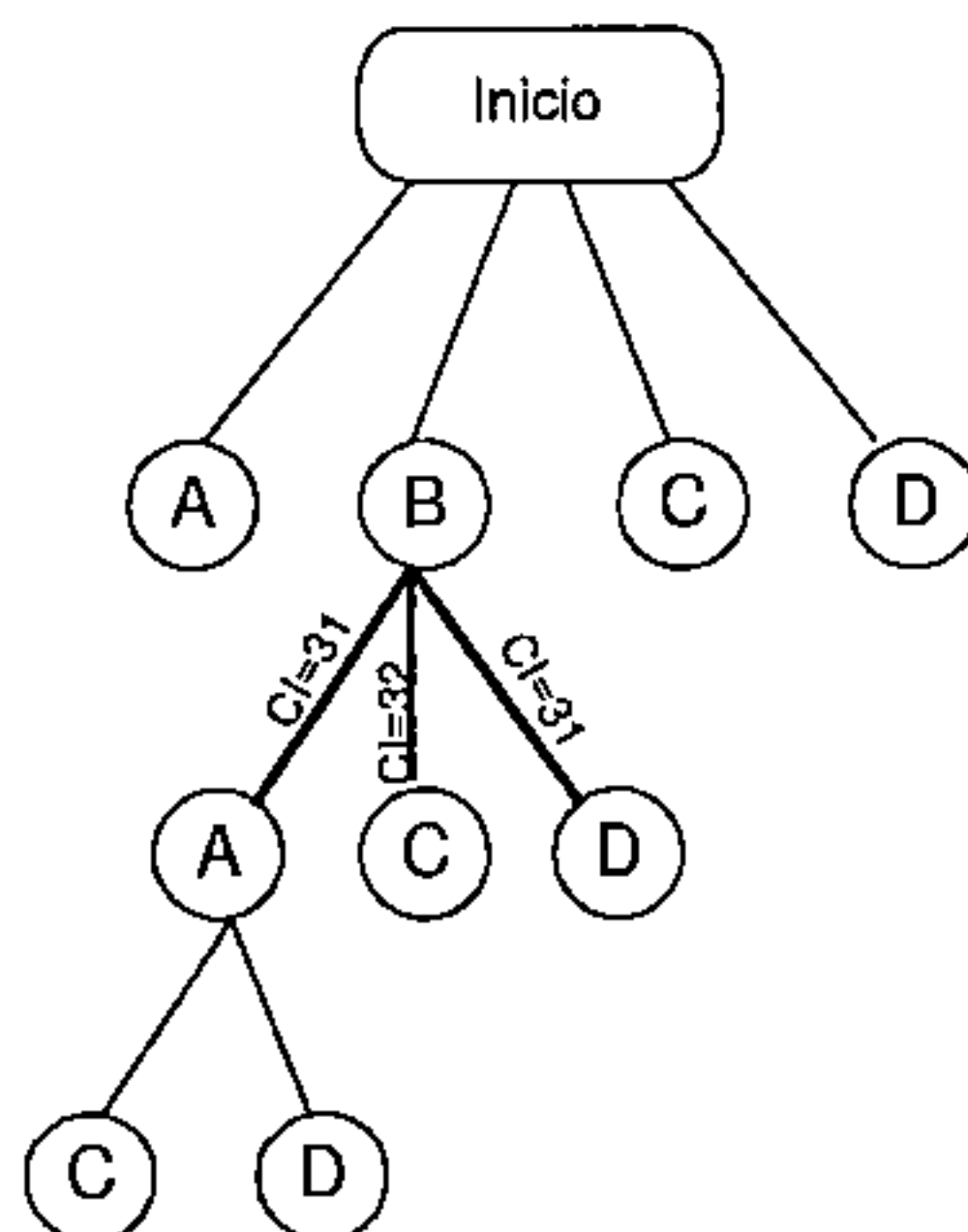
$$= \max \begin{cases} 12 + (3+5) + \min(4+10, 4+4) & = 28 \\ 14 + (4+4) + \min(10, 4) & = 26 \\ 18 + (10+4) & = 32 \end{cases} = 32$$

$$CI(BD) = \max \begin{cases} T1(BD) + (t_{A1} + t_{C1}) + \min(t_{A2} + t_{A3}, t_{C2} + t_{C3}) \\ T2(BD) + (t_{A2} + t_{C2}) + \min(t_{A3}, t_{C3}) \\ T3(BD) + (t_{A3} + t_{C3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 7 + (3+10) + \min(4+10, 2+4) & = 26 \\ 11 + (4+2) + \min(10, 4) & = 21 \\ 17 + (10+4) & = 31 \end{cases} = \boxed{31}$$

Elección de la mínima CI (se procede como en el paso 6).

Esta vez, la mínima CI la comparten 2 secuencias: BA y BD (solución alternativa). Se empezará analizando la secuencia BA. El diagrama de ramificación queda así:



Iteración 3

Cálculo de los tiempos acumulados (se procede como en el paso 4).

Secuencia J_r : BAC, $r = 3$

$$T1(BAC) = T1(BA) + t_{c1} = 5 + 10 = 15$$

$$T2(BAC) = \max \begin{cases} T1(BAC) + t_{c2} \\ T2(BA) + t_{c2} \end{cases} = \max \begin{cases} 15 + 2 \\ 9 + 2 \end{cases} = 17$$

$$T3(BAC) = \max \begin{cases} T2(BAC) + t_{c3} \\ T3(BA) + t_{c3} \end{cases} = \max \begin{cases} 17 + 4 \\ 23 + 4 \end{cases} = 27$$

Secuencia J_r : BAD, $r = 3$

$$T1(BAD) = T1(BA) + t_{d1} = 5 + 5 = 10$$

$$T2(BAD) = \max \begin{cases} T1(BAD) + t_{d2} \\ T2(BA) + t_{d2} \end{cases} = \max \begin{cases} 10 + 4 \\ 9 + 4 \end{cases} = 14$$

$$T3(BAD) = \max \begin{cases} T2(BAD) + t_{d3} \\ T3(BA) + t_{d3} \end{cases} = \max \begin{cases} 14 + 4 \\ 23 + 4 \end{cases} = 27$$

Cálculo de las CI (paso 5).

$$CI(BAC) = \max \begin{cases} T1(BAC) + (t_{d1}) + (t_{d2} + t_{d3}) \\ T2(BAC) + (t_{d2}) + (t_{d3}) \\ T3(BAC) + (t_{d3}) \end{cases}$$

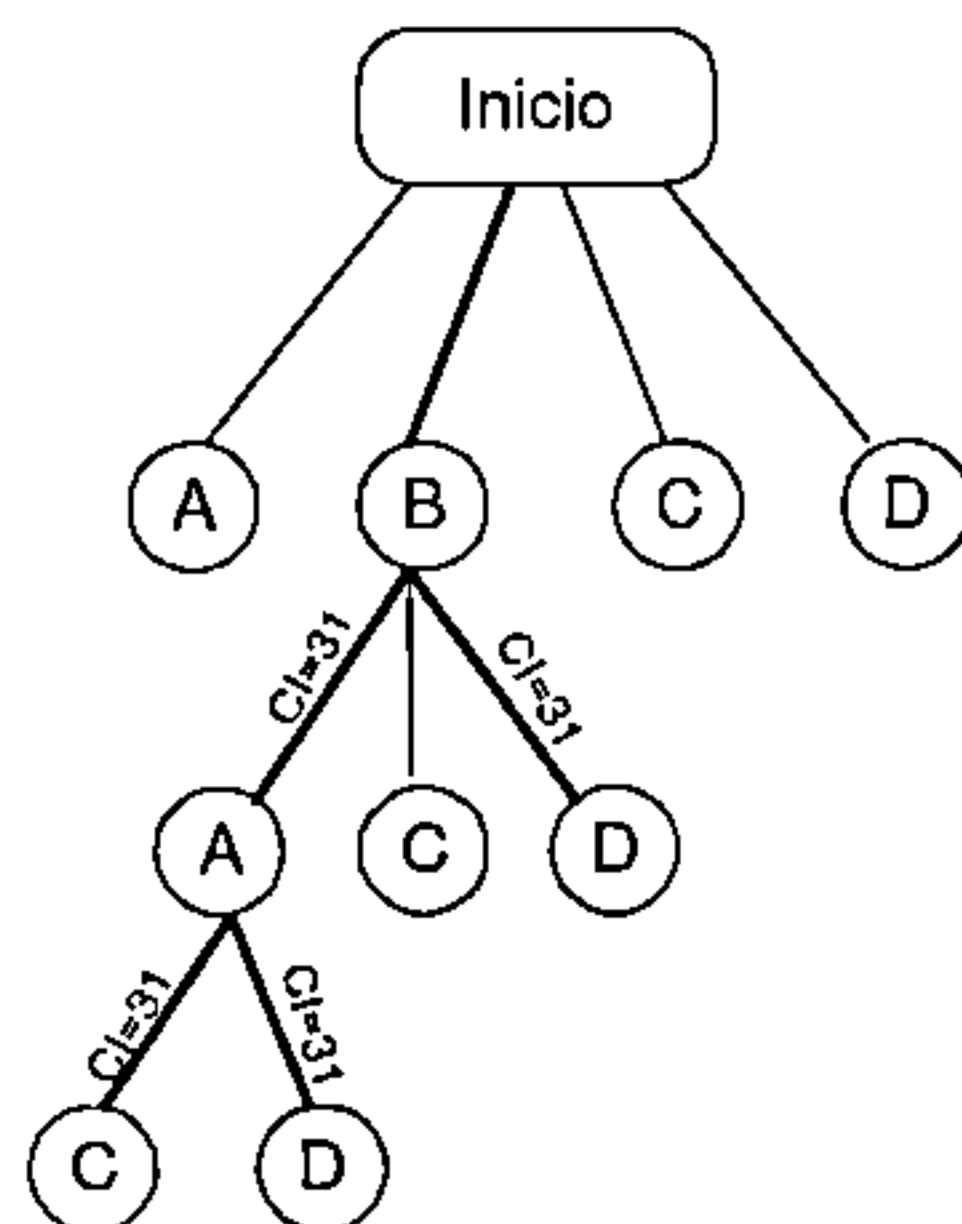
$$= \max \left\{ \begin{array}{ll} 15 + (5) + (4 + 4) & = 28 \\ 17 + (4) + (4) & = 25 \\ 27 + (4) & = 31 \end{array} \right\} = \boxed{31}$$

$$CI(BAD) = \max \left\{ \begin{array}{l} T1(BAD) + (t_{c1}) + (t_{c2} + t_{c3}) \\ T2(BAD) + (t_{c2}) + (t_{c3}) \\ T3(BAD) + (t_{c3}) \end{array} \right.$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{ll} 10 + (10) + \min(2 + 4) & = 26 \\ 14 + (2) + \min(4) & = 26 \\ 27 + (4) & = 31 \end{array} \right\} = \boxed{31}$$

Elección de la mínima CI (se procede como en el paso 6)

Nuevamente la menor CI la comparten dos secuencias: BAC y BAD, el diagrama de ramificación queda así:



Ya que la CI la comparten las dos secuencias, ambas son soluciones al problema BADC y BACD; pero para determinar cuál es la mejor se aplica el principio de la dominación.

$$T2(BAC) \geq T2(BAD) \quad 17 \geq 14$$

$$T3(BAC) \geq T3(BAD) \quad 27 \geq 27$$

BAC es dominado por BAD por lo tanto se descarta la secuencia BACD quedando como solución la secuencia BADC.

Pero, dado que hubo también solución alternativa en la secuencia BD, se procede a analizar ésta en una cuarta iteración.

Iteración 4

Cálculo de los tiempos acumulados (paso 4)

Secuencia J_r: BDA, r = 3

$$T1(BDA) = T1(BD) + t_{A1} = 7 + 3 = 10$$

$$T2(BDA) = \max \begin{cases} T1(BDA) + t_{A1} \\ T2(BD) + t_{A2} \end{cases} = \max \begin{cases} 10 + 4 \\ 11 + 4 \end{cases} = 15$$

$$T3(BDA) = \max \begin{cases} T2(BDA) + t_{A3} \\ T3(BD) + t_{A3} \end{cases} = \max \begin{cases} 15 + 10 \\ 17 + 10 \end{cases} = 27$$

Secuencia J_r: BDC, r = 3

$$T1(BDC) = T1(BD) + t_{C1} = 7 + 10 = 17$$

$$T2(BDC) = \max \begin{cases} T1(BDC) + t_{C2} \\ T2(BD) + t_{C2} \end{cases} = \max \begin{cases} 17 + 2 \\ 11 + 2 \end{cases} = 19$$

$$T3(BDC) = \max \begin{cases} T2(BDC) + t_{C3} \\ T3(BD) + t_{C3} \end{cases} = \max \begin{cases} 19 + 4 \\ 17 + 4 \end{cases} = 23$$

Cálculo de las CI: Para la cota inferior de la secuencia BDA también se puede aplicar el *principio de la dominación*, dado que:

$$T2(BDA) \geq T2(BAD) \quad 15 \geq 14$$

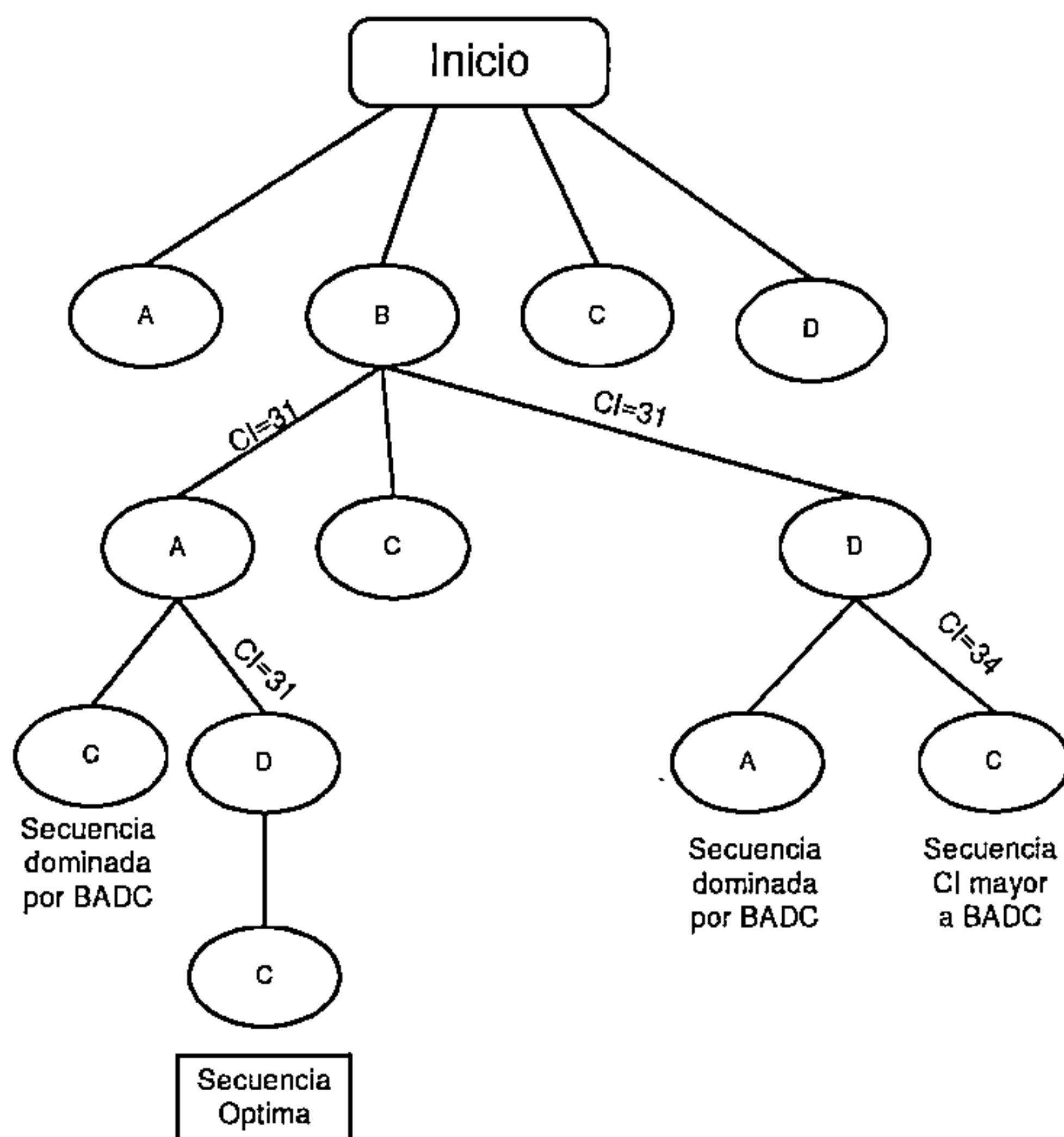
$$T3(BDA) \geq T3(BAD) \quad 27 \geq 27$$

Por lo tanto, no es necesario calcular la CI de la secuencia BDA para su descarte (su valor habría resultado $CI(BDA) = 31$)

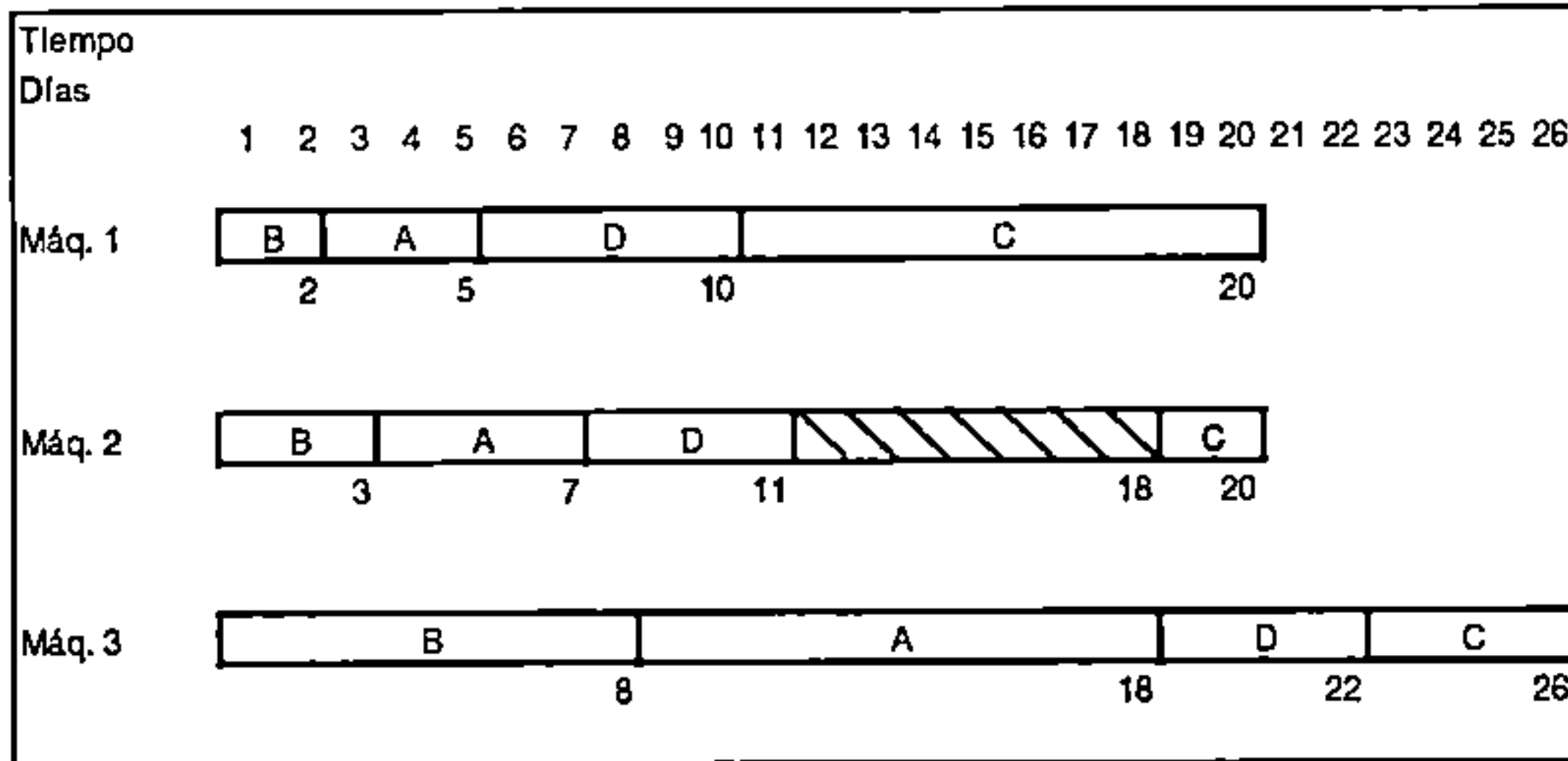
$$CI(BDC) = \max \begin{cases} T1(BDC) + (t_{A1}) + (t_{A2} + t_{A3}) \\ T2(BDC) + (t_{A2}) + (t_{A3}) \\ T3(BDC) + (t_{A3}) \end{cases}$$

$$= \max \begin{cases} 17 + (3) + (4 + 10) & = 34 \\ 19 + (4) + (10) & = 33 \\ 23 + (10) & = 33 \end{cases} = 34$$

Finalmente el diagrama de ramificación queda así:



Paso 7: Mediante la carta Gantt se define el plazo de entrega de 26 días con la secuencia óptima B-A-D-C.



Algoritmo de Johnson

Otro método más sencillo para resolver este tipo de problemas es aplicar el algoritmo de Johnson; pero a diferencia del anterior, que es aplicable a cualquier modelo sin restricción alguna, Johnson sólo es aplicable a modelos que cumplan *por lo menos una* de las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} \min \text{ tiempo máq. 1} &\geq \max \text{ tiempo máq. 2} \\ \min \text{ tiempo máq. 3} &\geq \max \text{ tiempo máq. 2} \end{aligned}$$

Paso 1: Verificando las condiciones del modelo en estudio se tiene:

	O/T \ Máq.	1	2	3
min (tiempo Máq. 1) = 2	A	3	4	10
máx (tiempo Máq. 2) = 4	B	2	3	8
min (tiempo Máq. 3) = 4	C	10	2	4
	D	5	4	4

entonces: $2 < 4$ no se cumple la primera condición.
 $4 \geq 4$ cumple la segunda condición.

Por lo tanto el algoritmo de Johnson es aplicable.

Paso 2: Se convierten las tres máquinas del modelo en dos máquinas ficticias: máq. 1-2 y máq. 2-3 de la siguiente manera:

- Los tiempos de la máquina ficticia máq. 1-2 serán la suma de los tiempos correspondientes de las máquinas 1 y 2.
- Los tiempos de la máquina ficticia máq. 2-3 serán la suma de los tiempos correspondientes de las máquinas 2 y 3.

El cálculo es el siguiente:

O / T	M á q . 1 - 2	M á q . 2 - 3
A	3 + 4	4 + 10
B	2 + 3	3 + 8
C	10 + 2	2 + 4
D	5 + 4	4 + 4

De esta manera se obtiene la siguiente matriz:

O / T	M á q . 1 - 2	M á q . 2 - 3
A	7	14
B	5	11
C	12	6
D	9	8

Paso 3: Ubicar en toda la matriz el menor tiempo.

- Si ese tiempo pertenece a la primera máquina, la O/T a que corresponda ese tiempo será procesado lo *antes posible*.
- Si ese tiempo pertenece a la segunda, la O/T a que corresponda ese tiempo será procesado lo *más tarde posible*.

Nota: Si dos máquinas ficticias tuviesen el mismo tiempo, se observarán con igual criterio sus componentes.

Paso 4: Eliminar de la matriz la fila correspondiente a la O/T del paso anterior.

Paso 5: Volver al paso 3.

El mínimo tiempo de la matriz (5), corresponde a la O/T B, como este tiempo pertenece a la primera máquina, la O/T B será la que inicie el proceso.

B - X - X - X

Se elimina la fila B de la matriz.

El mínimo tiempo de lo que queda en la matriz (sin incluir los tiempos de la O/T B) es 6 y corresponde a la O/T C; como este tiempo pertenece a la segunda máquina, la O/T C será la última en procesar.

B - X - X - C

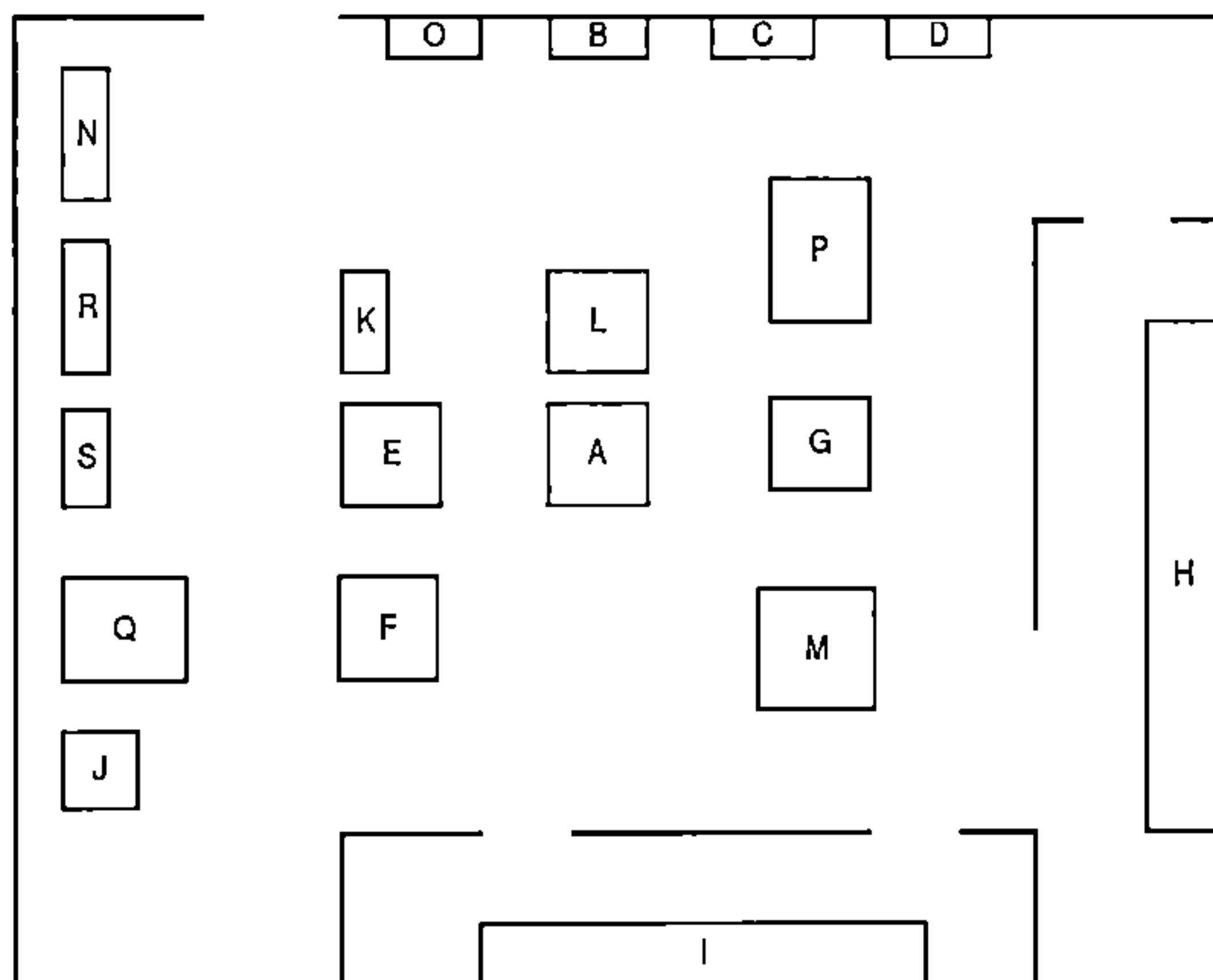
Se elimina la fila C de la matriz.

El mínimo tiempo de lo que queda en la matriz es 7 y corresponde a la O/T A; como este tiempo pertenece a la primera máquina, se debe procesar A lo antes posible, y como la O/T C es ya la última en la secuencia, la O/T A será la segunda, siendo la secuencia óptima:

B - A - D - C

Elaboración urgente, secuenciación gráfica

Utilización	En fábricas con disposición funcional de maquinaria, donde se elaboran unitariamente o en pequeñas series piezas por pedido directo <i>es conveniente la programación de la producción de los trabajos de con prioridad de entrega</i> , comúnmente denominados <i>urgentes</i> . Cualquiera sea la cantidad de pedidos en cartera, la denominación de urgente debe utilizarse para un reducidísimo número de trabajos.
Teoría	Teoría de la optimización. Teoría de redes. Teoría de colas.
Bibliografía	RIGGS, J. <i>Sistemas de producción: Planeación, análisis y control</i> . México: Limusa, 1976, p. 369. VORIS, W. <i>Control de la producción</i> . 3a. edición. Barcelona: Hispano Europea, 1983, p. 423.
Modelo práctico	En la matricería de una empresa cuyo <i>layout</i> es el de la figura, se reciben instrucciones de la gerencia de producción; por ejemplo: "De las órdenes de trabajo en cartera son urgentes las N° 089, 107 y 121 debiendo definirse sus plazos de entrega".



ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Se confecciona un cuadro base con la maquinaria existente para la preparación, sobre duplicados, de los diagramas multiproductos y de H. Gantt para los pedidos urgentes, donde los supervisores puedan seleccionar y estimar rápidamente con ayuda de planos o muestras, rutas, tiempos de procesamiento y plazos de entrega.

Rutas y tiempos estimados en horas de las O/T urgentes se indican en el diagrama multiproducto. Los plazos de entrega resultan de la programación (para la cual reglas SOT y FIFO son de aplicación).

ESTACIONES	O/T URGENTES				PERÍODO ESTÁNDAR (hrs)	PROGRAMACIÓN DIARIA			
	89	121	107			1	2	3	4
A Acepilladora									
B Banco de ajuste 1									
C Banco de ajuste 2									
D Banco de ajuste 3									
E Fresadora I			5		0.75		107		
F Fresadora II	3	3			0.75	121	89		
G Limadora									
H Línea de tratamientos superficiales		4	4	4	0.75		107	89	121
I Línea de tratamientos térmicos									
J Pantógrafo									
K Rectificadora I	3	3			0.75		89	121	
L Rectificadora II									
M Sierra valvón		2			0.75	121			
N Taladro de banco 1									
O Taladro de banco 2			2		0.75		107		
P Taladro universal	4	4			0.75	59	121		
Q Tomo copiador									
R Tomo paralelo I			3						
S Tomo paralelo II					0.75	107			
CÓDIGO Y DENOMINACIÓN	DIAGRAMA MULTIPROCESOS					DIAGRAMA DE GANTT			

En la programación se utiliza el denominado "período estándar" de Voris dividiendo el día en diez partes iguales (cada una equivalente a una décima parte de las horas que se ha dispuesto trabajar en la máquina: $H_0/10$).

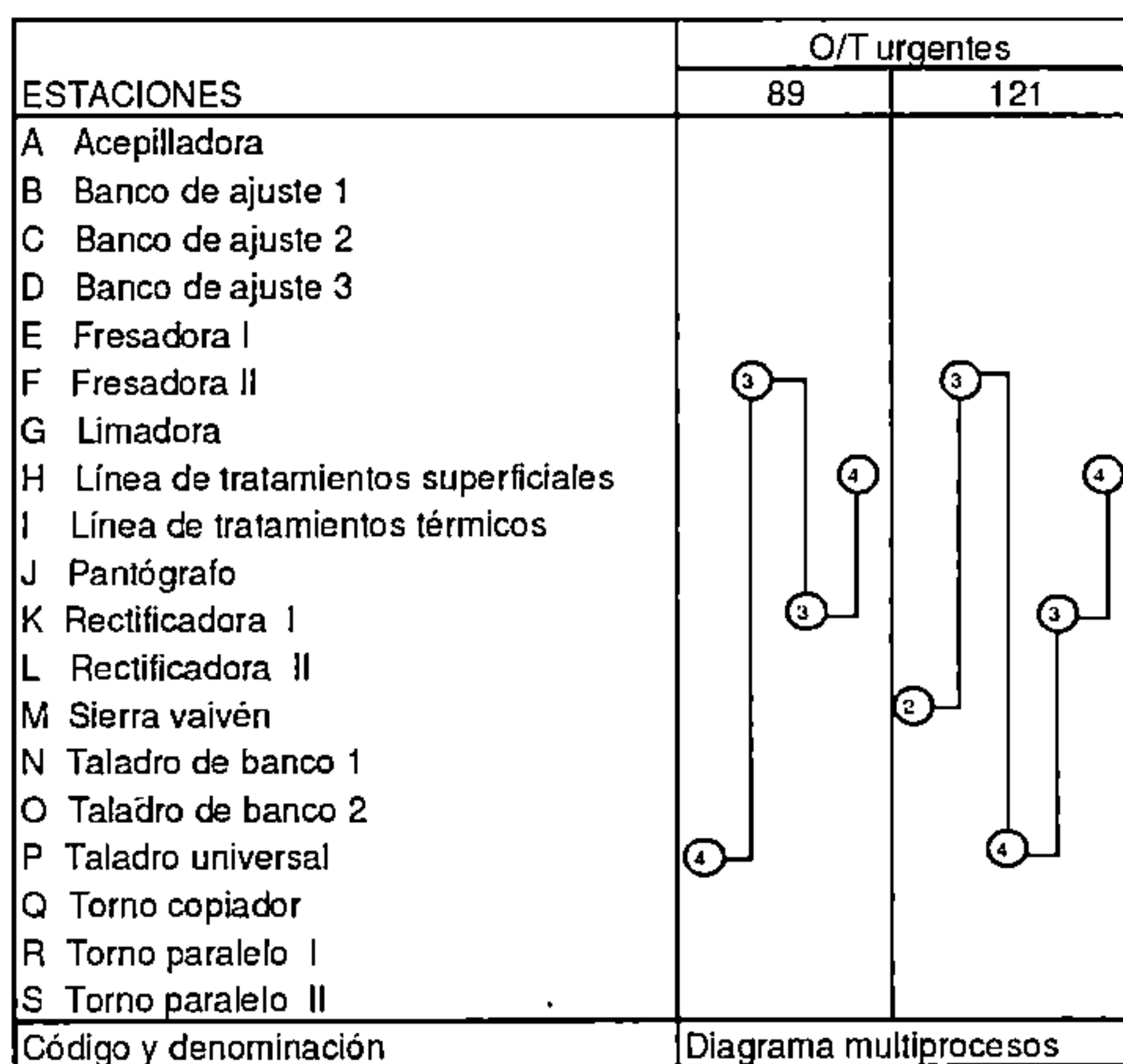
En este caso, como la empresa ha dispuesto laborar normalmente 7.5 hrs./día, el período estándar es de 0.75 hrs.

Si por la urgencia se decidiese que la línea de tratamientos superficiales H laborase dos turnos/día de 8 horas con media hora de paro dispuesto para refrigerio el período estándar para H sería de 1.5 horas.

Si la gerencia de producción adoptase como política que la condición urgente la tendrán sólo dos O/T, entonces se podrá aplicar el *método gráfico de secuenciación de dos pedidos en n estaciones de trabajo* para definir sus plazos de entrega.

Paso 1: Consiste en el diseño de la ruta y la estimación de tiempo sobre un diagrama multiproductos.

La gerencia de producción ha indicado que los dos productos más urgentes son la O/T 089 y la 121. Ambas piezas son obtenidas de materiales planos, existiendo diferencias con los procesos de elaboración de piezas obtenidas a partir de material redondo. La similitud de procesos en este caso provocará que se produzcan problemas de colas (aunque se trate de evitarlas al diseñar las rutas).

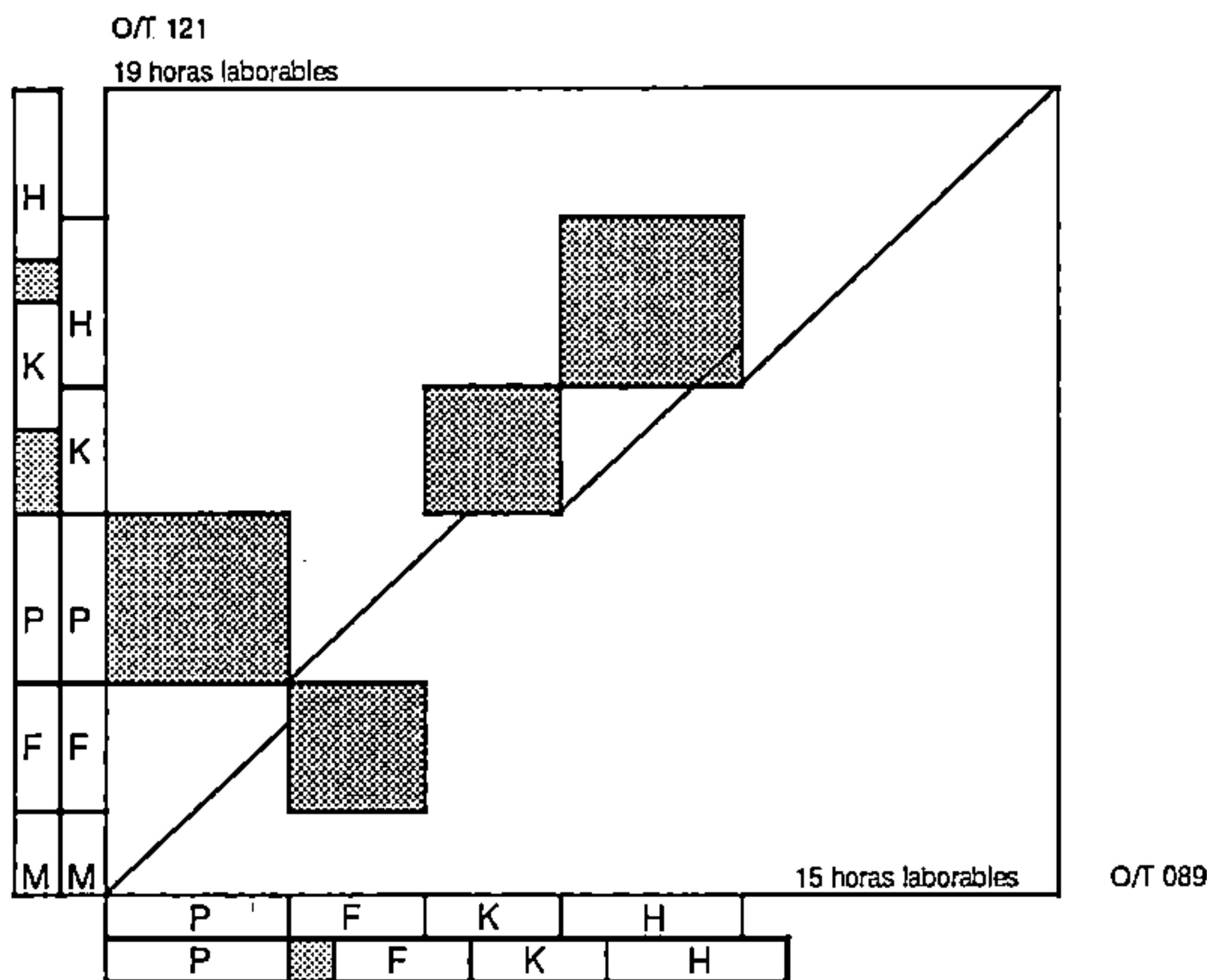


Los tiempos estimados para cada operación —en horas laborables— son indicados en cada nodo.

Paso 2: Se grafican en abscisas y ordenadas los diagramas de barras de las operaciones de los procesos de elaboración de las O/T 089 y 121. Se señalan los "obstáculos" trazando verticales y horizontales donde se emplean las mismas máquinas.

Paso 3: Se traza a partir del origen una recta a 45° de avance de ambos trabajos, si se alcanza un obstáculo se le rodea para continuar la trayectoria a 45°.

Un desvío vertical implicará igual tiempo de atraso de la O/T graficada en las abscisas, y viceversa un desvío horizontal para las O/T en ordenada.



La O/T 089 se procesará en $4 + 1 + 3 + 3 + 4 = 15$ horas laborables

La O/T 121 se procesará en $2 + 3 + 4 + 2 + 3 + 1 + 4 = 19$ horas laborables

Se concluye, como axioma de optimización, que en cada estación de trabajo se debe procesar primero el trabajo que primero llega a dicha estación, no debiendo confundirse esto con el sistema de programar primero el pedido más antiguo (FIFO).

Asignación a un número de máquinas de igual número de pedidos

Utilización	Si en la programación periódica se debe asignar a un número determinado de máquinas igual número de pedidos que podrían ser procesados por cualquiera de estas máquinas con diferentes costos unitarios, es posible efectuar la asignación a costo mínimo.
Teoría	Teoría de optimización. Algoritmo de Little.
Bibliografía	KAUFMANN, A. <i>Métodos y modelos de investigación de operaciones</i> . México: Continental, 1977, p. 96.
Modelo práctico	En una planta convertidora de papeles, se programa semanalmente la producción de un artículo para cada una de las cuatro rayadoras-cortadoras transversales disponibles. Los cuatro artículos a procesar, de los 36 que la empresa produce con distintos rayados, tintas y papeles, se seleccionan considerando sus niveles óptimos de inventario, debiendo decidirse a qué máquina se asigna cada artículo.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Se aplicará el algoritmo de Little para lo cual se debe disponer de un banco de datos de los costos unitarios resultantes de procesar cada uno de los 36 artículos en cada una de las 4 rayadoras-cortadoras transversales que, por razones de diseño de máquina y estado de conservación, suelen resultar diferentes.

Considerando que los artículos a procesar en la semana son los códigos: 07, 11, 18 y 33, la matriz de costos unitarios (\$/kgr) es la siguiente:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
7	30	35	50	30
11	60	45	35	40
18	40	45	30	35
33	45	40	55	40

Paso 1: Determinación de los costos unitarios.

La metodología para la determinación de los costos unitarios se explicará con un caso distinto:

Ejemplo: Los casquetes que soldados conforman un balón de gas tienen el siguiente DOP de elaboración:

Operación	Denominación
①	Corte
②	Matrizado
③	Embutido
④	Repujado y refilado
⑤	Decapado y revisión

La operación 3 puede ser realizada en:

Alternativa	Máquina	Tstd (HM/u)	d(%)	ε (%)
A1	Prensa mecánica PM250	0.0083	1.5	70
A2	Prensa hidráulica PH1000	0.01111	0.5	80

Tstd = Tiempo estándar d = defectuosos ε = eficiencia

Si la demanda de casquetes para la operación 4 es de 48,600 unidades, el flujo horario es determinable mediante la expresión:

$$Q = \frac{E(1-d)}{T_{std}} \quad \text{resultando:}$$

Operación 3	A1 PM250	A2 PH1000
Flujo horario	83,1 u/HM	71,6 u/HM
HM necesarias	584,8	678,8

Los costos unitarios son determinables a partir de los costos horarios:

Costo horario (\$/HM)	A1 PM 250	A2 PH 1000
Mano de Obra	0,95	0,95
Materiales	6,39	1,81
Energía eléctrica	0,10	0,24
Depreciación	3,17	7,11
Mantenimiento	1,02	1,35
Costo horario (\$/HM)	11,63	11,46
Flujo horario (u/HM)	83,10	71,60
Costo unitario (\$/u)	0,14	0,16

Notas: Los costos horarios fueron calculados considerando horas disponibles:

$$H_d = 303 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 1 \frac{\text{turno}}{\text{día}} \times 7.5 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} = 2272.5 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

El costo de mano de obra fue calculado con una remuneración mensual de obreros de 90\$ incluyendo beneficios sociales y el requerimiento de un operario y un ayudante en cada alternativa.

$$\frac{90\$/\text{operario} \cdot \text{mes} \times 2\text{operarios} \times 12\text{meses} / \text{año}}{2272.5\text{hrs} / \text{año}} = 0.95\$/\text{hr}$$

El costo de materiales fue calculado considerando las unidades defectuosas producidas en cada máquina y el costo de los discos de fierro consecuentemente malogrados.

Así por ejemplo para la PM250:

$$\frac{48600 \cdot \frac{0.015}{1 - 0.015} \times 5.05 \frac{\$}{\text{unidad}}}{584.8 \text{ hrs}} = 6.39 \frac{\$}{\text{hr}}$$

El costo de energía eléctrica fue calculado considerando potencias de motores, factor de uso de los mismos (porcentaje del tiempo de trabajo en que los motores operan) y costo horario de la energía eléctrica:

Máquina	Potencia	Factor de uso
PM 250	5 HP	67%
PH 1000	10 HP	80%

Así por ejemplo para la PM250:

$$5\text{HP} \times 0.7457 \frac{\text{kw}}{\text{HP}} \times 0.67 \times 0.04 \frac{\$}{\text{kwhr}} = 0.10 \frac{\$}{\text{hr}}$$

El costo de depreciación fue estimado considerando el valor de reposición de maquinaria, matrices, equipos e instalaciones conexas, así como de la superficie ocupada por máquina + lugar de trabajo y su vida útil.

El costo de mantenimiento fue estimado considerando repuestos y servicios de conservación y reparación anuales. Así, por ejemplo, para la PM250, el costo anual de mantenimiento se estimó experimentalmente igual al 3.2% del costo de equipamiento que habría sido de \$72,400.

$$\frac{0.032 \times 72400 \frac{\$}{\text{año}}}{2272.5 \frac{\text{Hrs}}{\text{año}}} = 1.02 \frac{\$}{\text{Hr}}$$

Retornando al modelo práctico, luego de calculados los *costos unitarios* de fabricación para cada artículo en cada máquina, se procede a tabular los costos de los 4 artículos escogidos en una matriz artículo/máquina:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	30	35	50	30
11	60	45	35	40
18	40	45	30	35
33	45	40	55	40

Paso 2: Se verifica que exista en la matriz por lo menos un cero en cada fila, de no ser así se escoge el menor elemento de cada fila y se resta de la misma.

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D	
07	0	5	20	0	(- 30)
11	25	10	0	5	(- 35)
18	10	15	0	5	(- 30)
33	5	0	15	0	(- 40)

Paso 3: Se verifica que en cada columna exista por lo menos un cero, de lo contrario se restará el menor elemento de la columna que no cumpla dicha condición.

La matriz en estudio cumple con esta condición, por lo que no es necesario efectuar el paso 2.

De esta manera se habrá obtenido por lo menos un cero en cada fila y columna de la matriz.

Paso 4: A cada cero obtenido en la matriz se le aplicará una penalización.

Esta penalización se obtiene sumando el menor elemento de la fila con el menor elemento de la columna pertenecientes al cero en cuestión (sin considerar dicho cero).

Así se tiene que para el casillero 07-A:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	0	5	20	0
11	25	10	0	5
18	10	15	0	5
33	5	0	15	0

menor elemento
de la fila = 0

menor elem.
de la columna = 5

Penalización del casillero 07-A = $0 + 5 = 5$

Procediendo de la misma manera para el resto de ceros, la matriz resultante es:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	0 5	5	20 5	0 0
11	25	10	0 5	5
18	10	15	0 5	5
33	5	0 5	15	0 0

*
0

Donde:

* Penalización

Paso 5: Se escoge el cero con mayor penalización, lo que significará la primera asignación y se elimina la fila y columna que contienen a dicho cero. Si existiese más de un cero con la misma penalización, se escogerá arbitrariamente.

En la matriz hay cuatro casilleros con máxima penalización igual a 5, se escoge arbitrariamente el casillero 07-A y se elimina la fila y columna que lo contiene (fila 07 y columna A).

Con esto se logra la primera asignación: Artículo 07 a la máquina A.

La matriz resultante es la siguiente:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	X	X	X	X
11	X	10	0	5
18	X	15	0	5
33	X	0	15	0

Paso 6: Se vuelve al paso 2 y se repite el ciclo sucesivamente hasta llegar a la última asignación.

Las siguientes matrices muestran la progresión del algoritmo:

2a. Iteración

Penalización

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	X	X	X	X
11	X	10	0	5
18	X	15	0	5
33	X	0	15	0

Asignación: Artículo 33 a la máquina B

Matriz resultante:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	X	X	X	X
11	X	X	0	5
18	X	X	0	5
33	X	X	X	X

3a. Iteración

Restando el menor elemento de la columna D:

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	X	X	X	X
11	X	X	0	0
18	X	X	0	0
33	X	X	X	X

(-5)

Penalización

ITEM \ MAQ.	A	B	C	D
07	X	X	X	X
11	X	X	0	0
18	X	X	0	0
33	X	X	X	X

Aparentemente resultaría indistinto asignar el artículo 11 a la máquina C y el artículo 18 a la máquina D, o el 11 a la D y el 18 a la C, presentándose dos alternativas:

Asignar el artículo	Altern. 1 a la Máq.	Altern. 2 a la Máq.
07	A	A
11	C	D
18	D	C
33	B	B

Paso 7: Siendo la demanda anual de los 36 artículos suficiente para saturar de trabajo a las cuatro máquinas, para elegir cuál de las dos soluciones es la mejor, es necesario verificar cuál de ellas aporta mayores utilidades a la empresa. Para ello se presentan las capacidades horarias de producción, costos y precios de cada artículo en ambas alternativas:

Alternativa 1:

Artículo	Máq.	Capac. producc. (Kg/HM)	Costos (\$/Kg)	Precio (\$/Kg)
07	A	100	30	37
11	C	150	35	50
18	D	50	35	45
33	B	200	40	48

$$\text{Costo horario} = 100 \times 30 + 150 \times 35 + 50 \times 35 + 200 \times 40 = 18000 \text{ $/M}$$

$$\text{Utilidad horaria} = 100(37-30) + 150(50-35) + 50(45-35) + 200(48-40) = 5050 \text{ $/HM.}$$

Alternativa 2:

Artículo	Máq.	Capac. producc. (Kg/HM)	Costos (\$/Kg)	Precio (\$/Kg)
07	A	100	30	37
11	D	140	40	50
18	C	100	30	45
33	B	200	40	48

Costo horario = 19600 \$/HM

Utilidad horaria = 5200 \$/HM

Comparando costos, la 1^{ra} alternativa parecería la más apropiada, pero lo que realmente interesa es la utilidad que aporta cada asignación a la empresa y tomando en cuenta ese criterio se concluye que la alternativa óptima es la segunda con una utilidad de 5,200 \$/HM.

Asignación
óptima:

Artículo	a la Máq.
07	A
11	D
18	C
33	B

Maximización del flujo de producción a costo mínimo

Utilización	Si existe la posibilidad de utilizar más de una máquina de características diferentes, por capacidad (unidades/hora máquina) y costo (\$/unidad), en la secuencia operativa del proceso de elaboración de un artículo de gran demanda, es posible maximizar el flujo de producción (unidades/hora), logrando que se obtenga al mínimo costo posible.
Teoría	Aplicaciones de teorías de optimización y redes. Algoritmo de Busacker Y Gowen.
Bibliografía	PRAWDA, J. <i>Métodos y modelos de investigación de operaciones</i> . México: Limusa, 1976, p. 353.
Modelo práctico	En una empresa metalmecánica, su numerosa y variada maquinaria está dispuesta funcionalmente. Así, por ejemplo, las guillotinas están agrupadas en una sección y a su vez dentro de esta sección existen grupos de máquinas según espesor y ancho de planchas que pueden cortar. Por ello, cuando los responsables del planeamiento de la producción confeccionan las hojas de ruta y las órdenes de trabajo (O/T) se enfrentan a alternativas. En este caso se trata de la producción de una pieza de gran demanda tratando de elaborar la máxima cantidad horaria posible fabricándolas al mínimo costo. Ciertas veces resulta imposible utilizar todas las máquinas de un grupo (Ej.: se puede contar con tres prensas mecánicas idénticas de 35 ton. y sólo disponer de una matriz para el troquelado, o que una prensa esté asignada por razones de programación a la fabricación de otro producto). Ante la necesidad de elaborar con celeridad un cuantioso pedido de cospeles para llamadas en teléfonos públicos, la secuencia: corte, troquelado, acuñado y abrillantado puede ser realizada en las guillotinas tipo A y B, en las prensas tipo E y F (contándose con 4 matrices), en las prensas H e I (disponiéndose de 6 estampas), y en los tambores L:

Operación	Sección o grupo de máquinas	T (HM/U)	No. de máquinas disponibles	Flujo máximo del grupo (miles de u/H)	Costo unitario (\$/u)
1	A	0.00025	1	4	3
	B	0.00014	1	7	5
2	E	0.00020	2	10	5
	F	0.00025	2	8	3
3	H	0.00033	2	6	2
	I	0.00040	4	10	4
4	L	0.00014	2	14	5

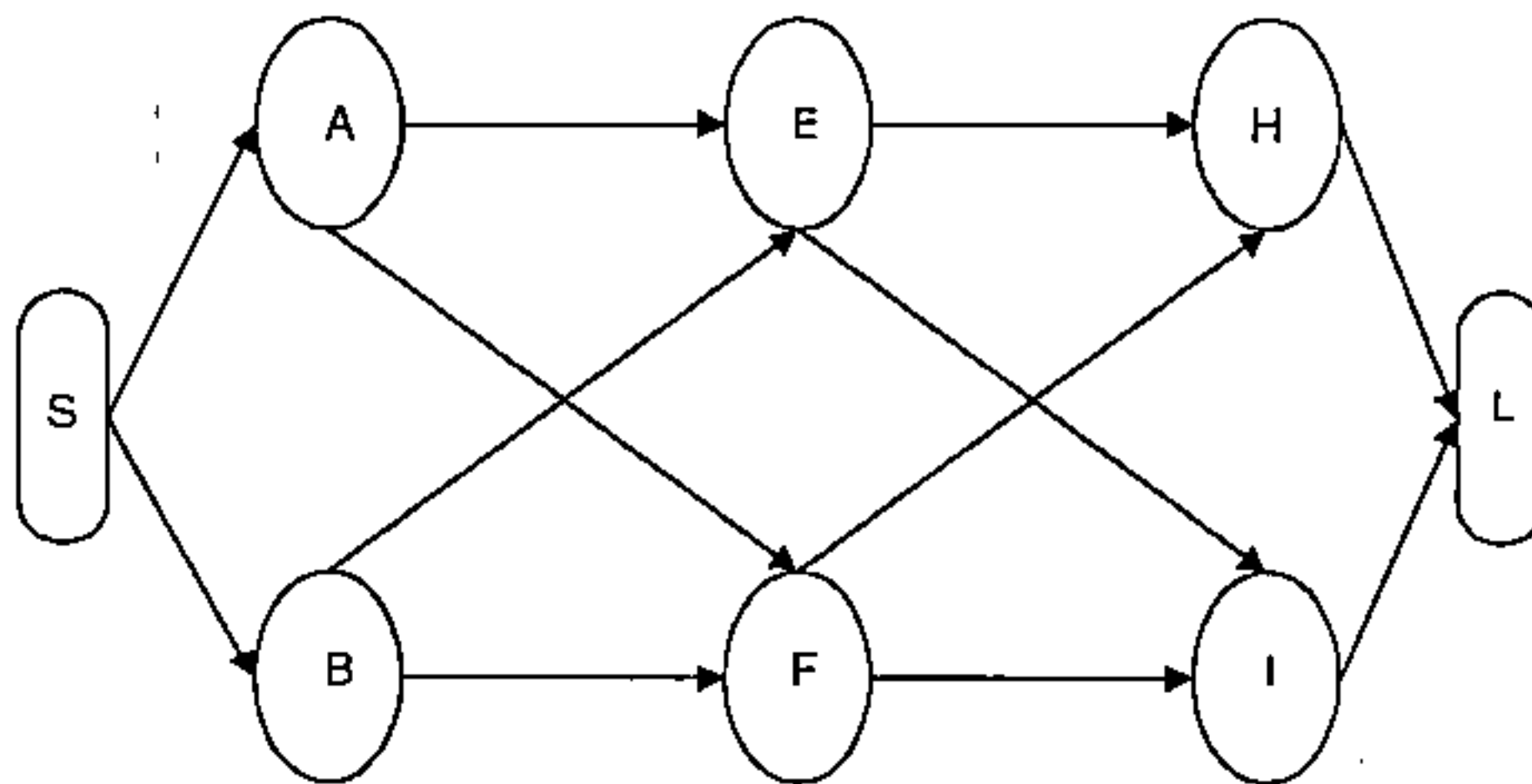
Entonces se presentan 8 alternativas para realizar el procesamiento

Diagrama de operaciones del proceso del artículo (DOP)	Grupos de máquinas utilizables							
	Alternativa							
	A	A	A	A	B	B	B	B
	F	F	E	E	F	F	E	E
	H	I	H	I	H	I	H	I
	L	L	L	L	L	L	L	L

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

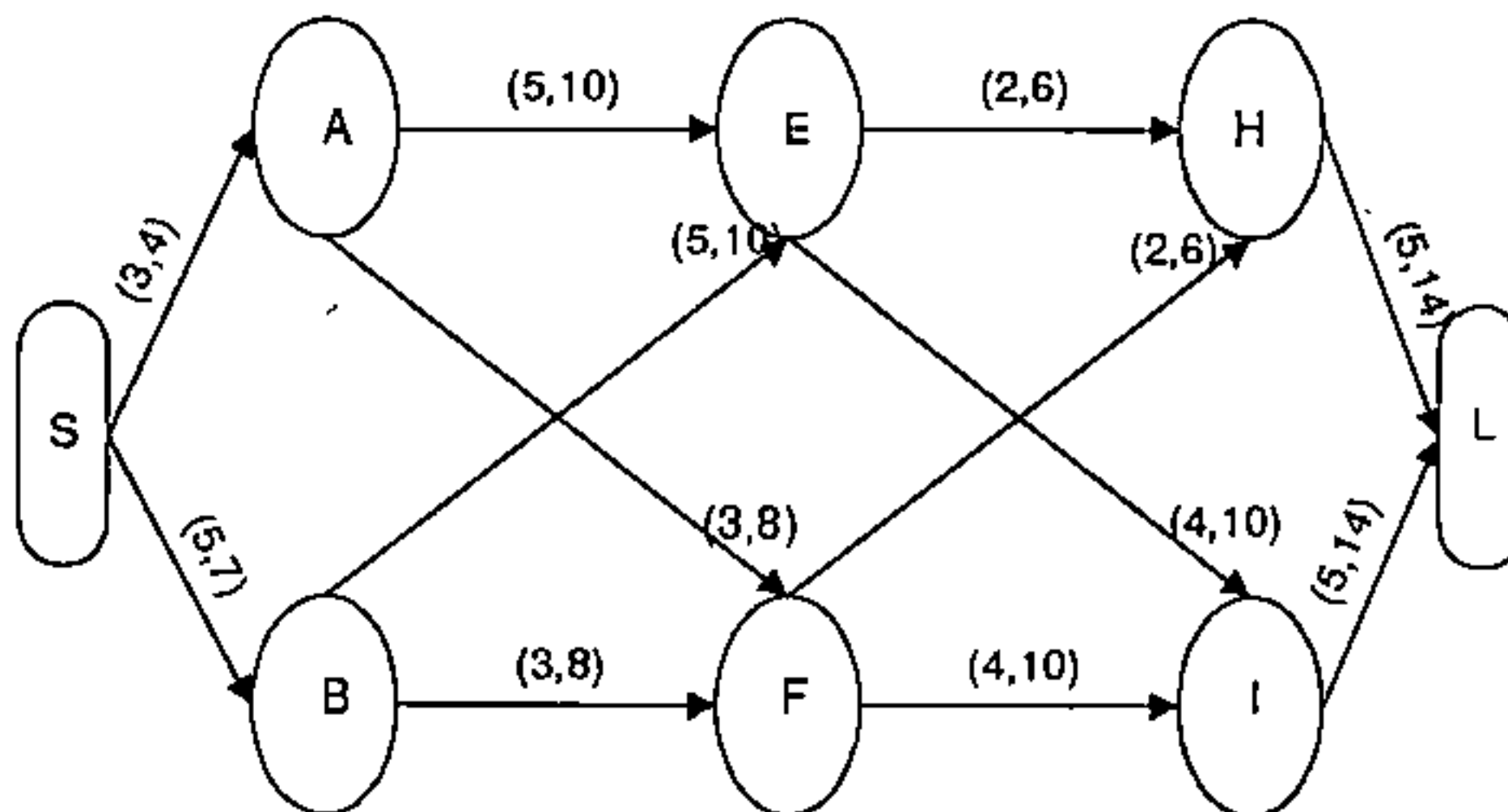
El algoritmo de Busacker y Gowen se aplica así:

Paso 1: Se construye una red de ramificaciones donde los nodos representan a los grupos de máquinas disponibles para el proceso y cada arco una posible ruta.



Paso 2: Se indican los costos unitarios y capacidades de producción sobre los arcos. Así, sobre el arco AE se coloca (5, 10), lo que significa que luego de procesar el material en las máquinas A, si se desea utilizar las máquinas E en la operación siguiente, el costo unitario que ello implica es de 5\$ y el flujo máximo de producción, considerando que se dispone de 2 máquinas E, será de 10 mil unidades.

La red queda así:



Paso 3: Se procede a etiquetar las máquinas en la red eligiendo las de menor costo, empezando por el nodo S (start) hasta llegar al nodo final. La secuencia de máquinas etiquetadas representa la ruta óptima. Una etiqueta consta de:

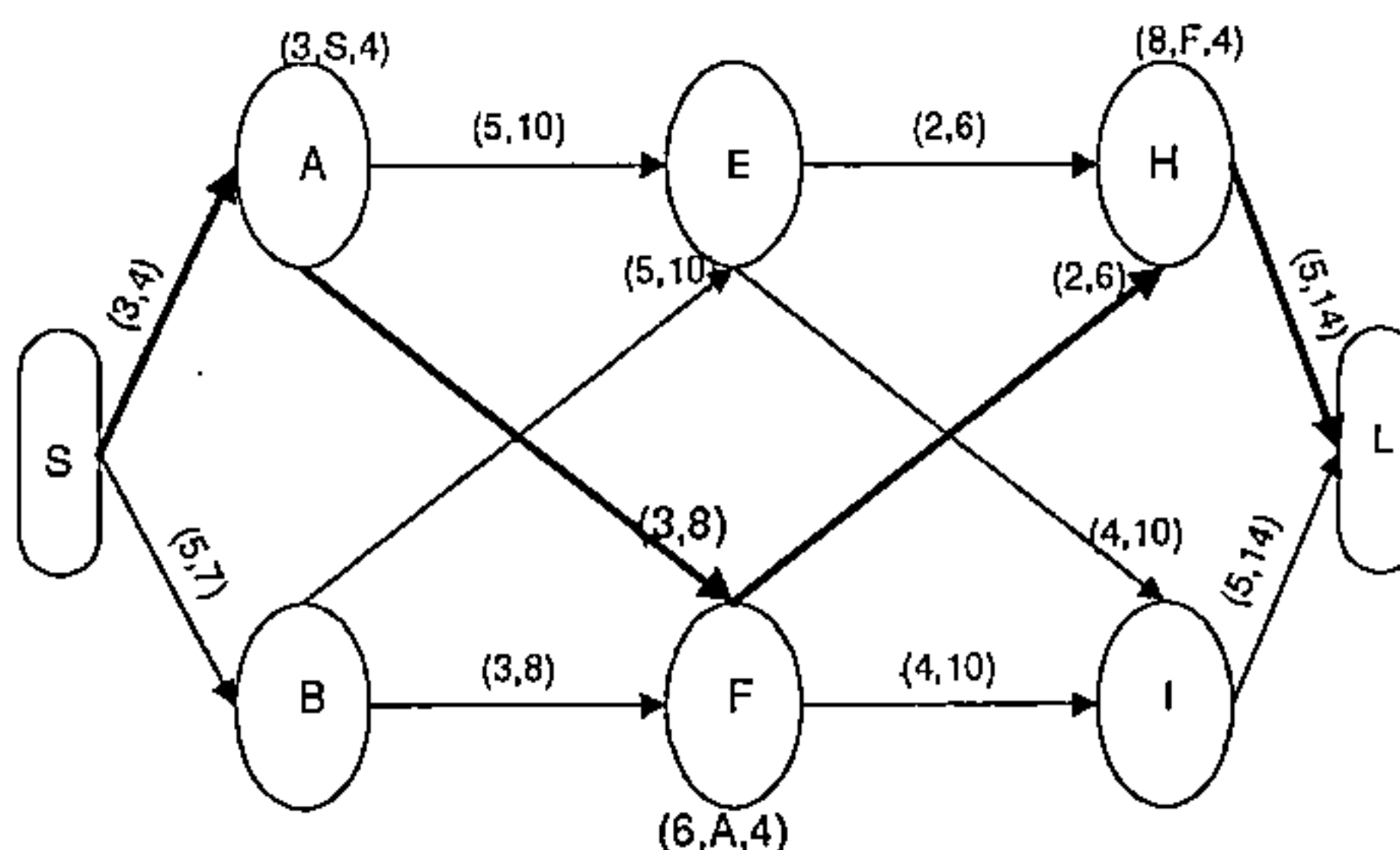
[Costo acumulado, máquina de donde proviene, flujo de material que pasa por la máquina]

Los pasos a seguir para etiquetar las máquinas son los siguientes:

1. Posicionarse en el nodo S (inicio)
2. Escoger entre las máquinas A y B la que tenga menor costo: A
3. Etiquetar la máquina elegida: [3, S, 4]

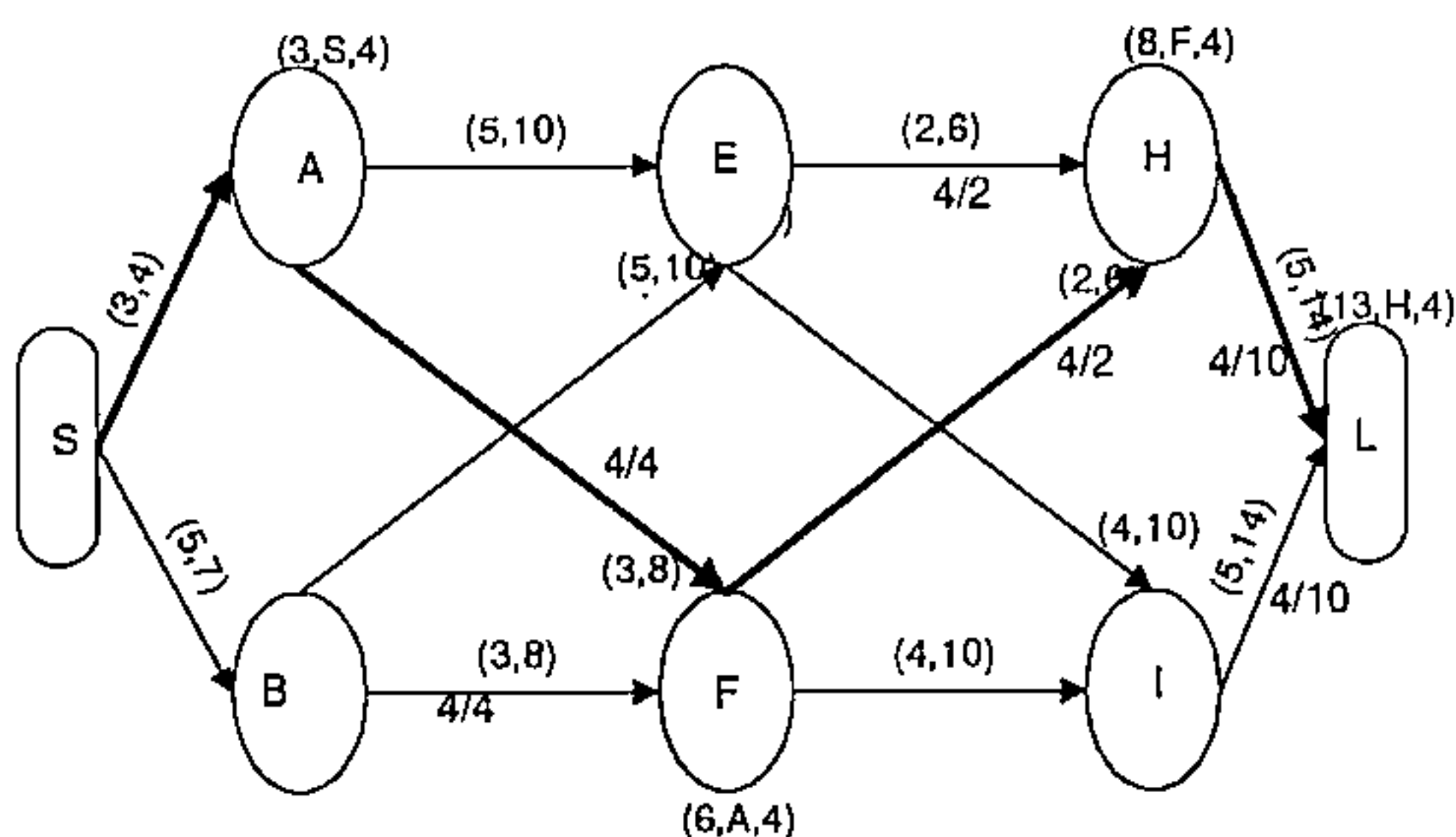
4. Posicionarse en la máquina A
5. Escoger entre las máquinas E y F la que tenga menor costo: F
6. Etiquetar F: $[3+3, A, \min(4, 8)]$ donde 4 mil son las unidades listas para procesar y 8 mil es la capacidad de procesamiento del grupo F
7. Se prosigue de la misma manera hasta llegar a la estación L

La red queda así:



Paso 4: Para determinar cuánto es lo que aún puede procesar cada máquina se recorre la ruta elegida de modo inverso, colocando bajo los arcos la cantidad que fue procesada y lo que aún se puede procesar.

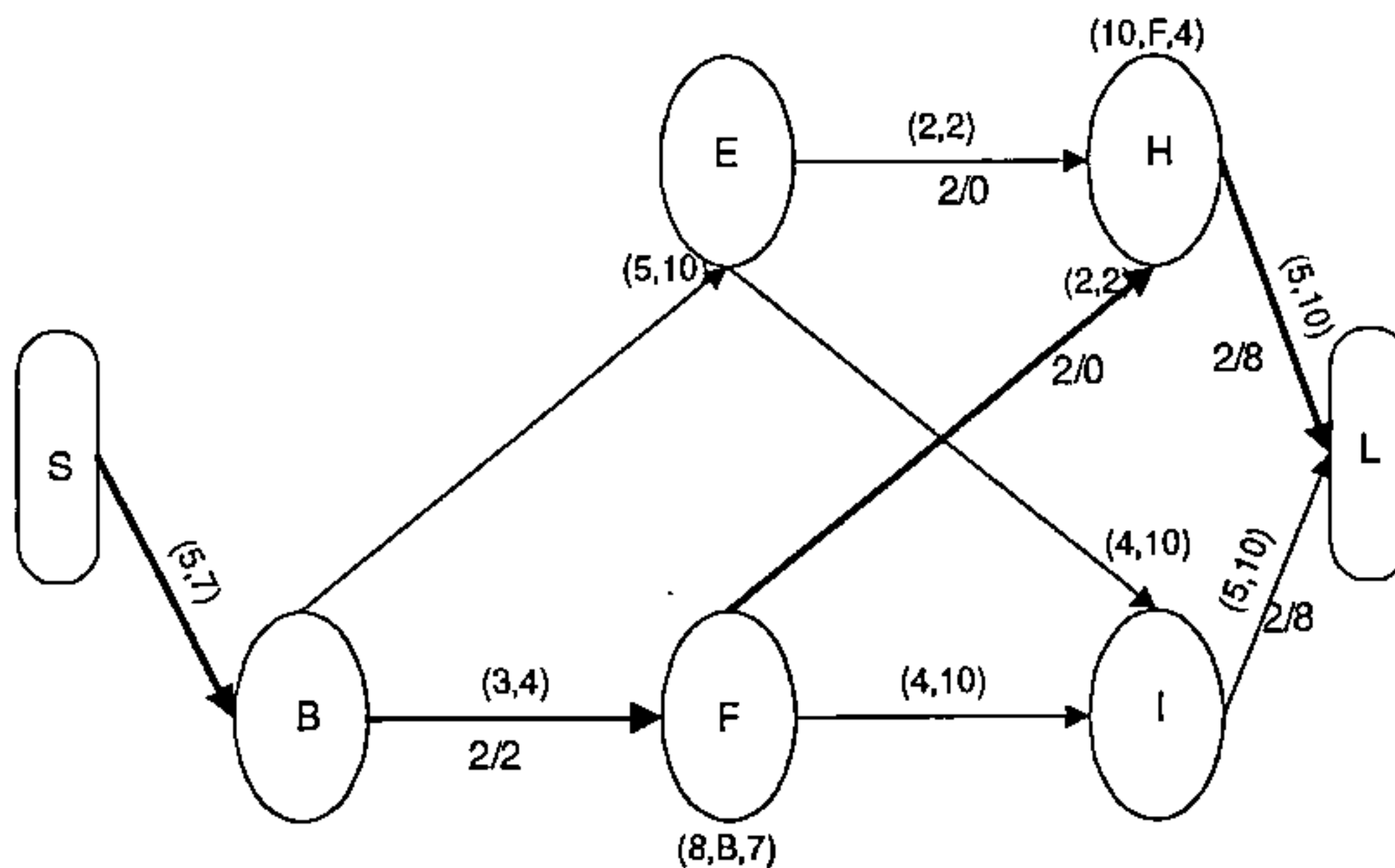
La red queda así:



Paso 5: Se calcula el flujo (unidades procesadas) y el costo de esta 1^{ra} iteración extrayendo estos datos de la etiqueta de la última operación (máquina L): [13, H, 4]

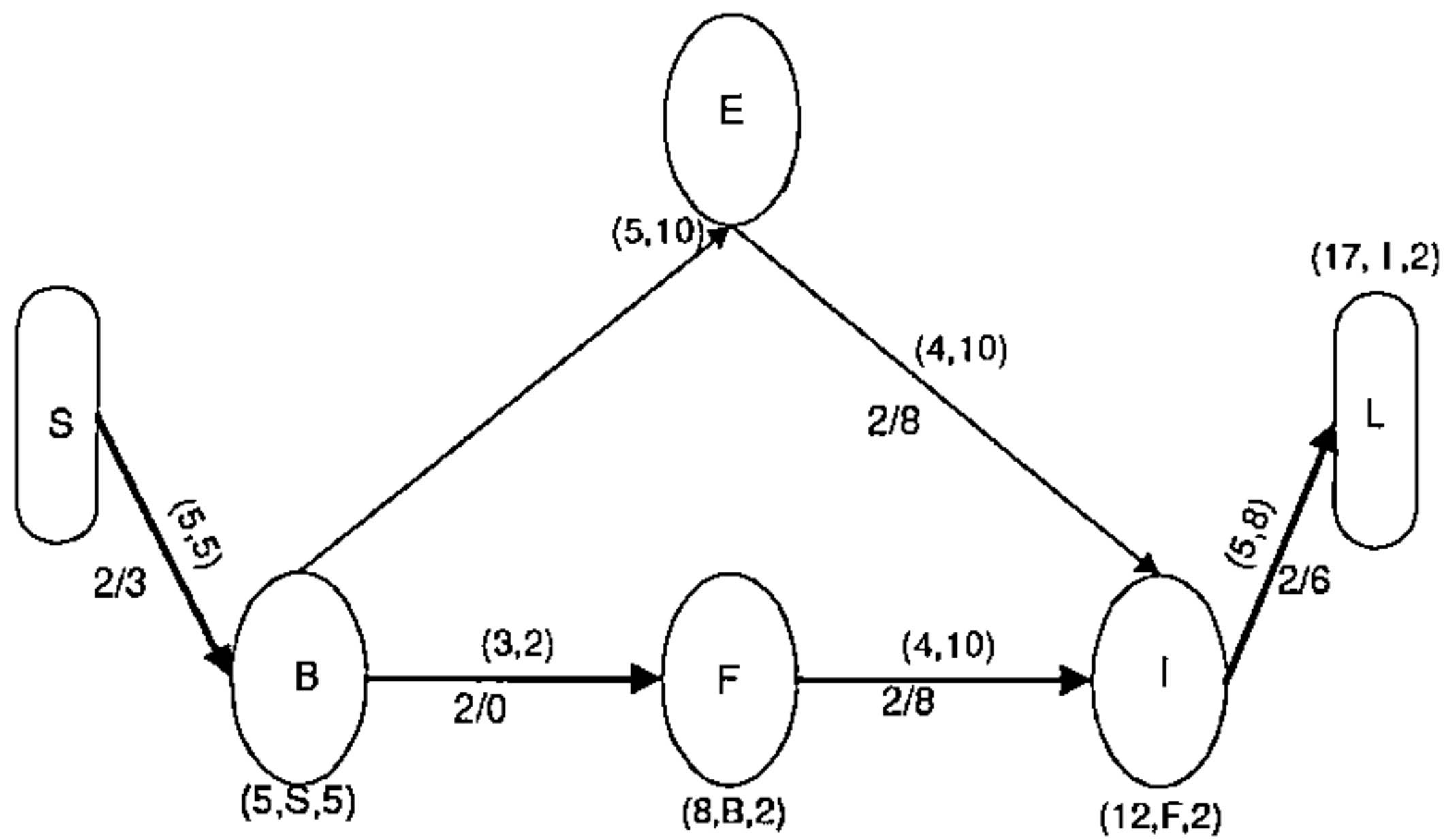
Flujo = 4000 unidades/hr
Costo = $13 \times 4000 = 52000$ \$/hr

Paso 6: Se eliminan las rutas (arcos) por las cuales no se puede procesar más (saturada) y se procede a una 2^{da} iteración de modo similar a lo anterior pero con las nuevas capacidades (resultantes del paso 4). La red queda así:



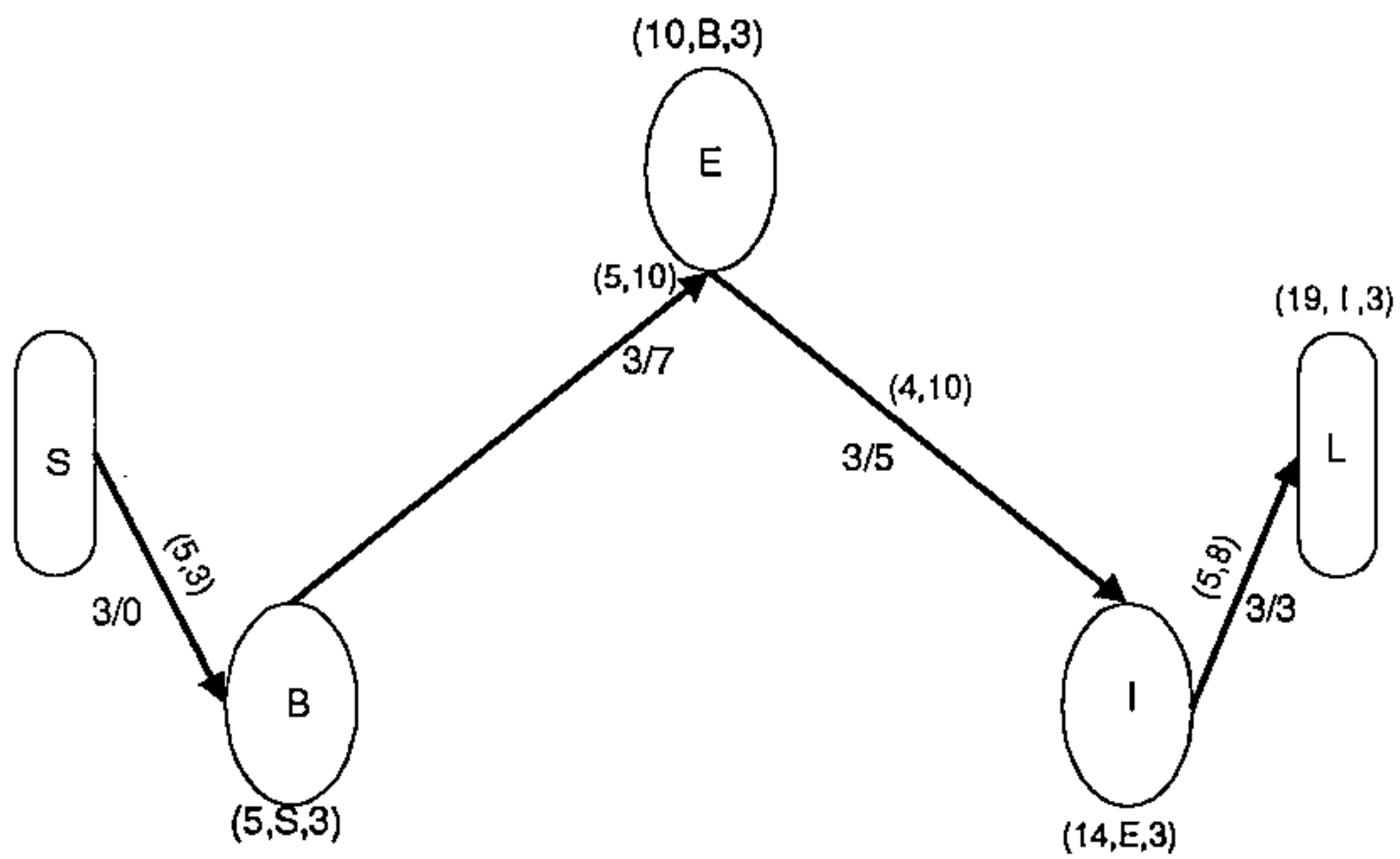
Flujo = 2000 unidades/hr
Costo = $15 \times 2000 = 30000$ \$/hr

Paso 7: Se procede a una 3^{ra} iteración con las nuevas capacidades restantes (del paso 6).



Flujo = 2000 unidades/hr
 Costo = $17 \times 2000 = 34000$ \$/hr

Paso 8: Se procede a una 4^{ta} iteración. La red queda así:



Flujo = 3000 unidades/hr
 Costo = $19 \times 3000 = 57000$ \$/hr

Y ya no es posible llegar del nodo inicial S a la operación final L.

Paso 9: Se procede al cálculo de los flujos y costos totales sumando los de las cuatro iteraciones.

$$\begin{aligned}\text{Flujo total} &= 4000 + 2000 + 2000 + 3000 \\ &= 11000 \text{ unidades/hr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Costo total} &= 52000 + 30000 + 34000 + 57000 \\ &= 173000 \$\end{aligned}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{173000}{11000} = 15.73 \$ / \text{unidad}$$

Distribución y programación del trabajo de una cuadrilla, diagrama de actividades múltiples

Utilización	Los diagramas de actividades múltiples permiten efectuar eficientemente la programación de tareas de cuadrillas de personal, encontrando especial aplicación en la producción en lotes (<i>batches</i>), donde sólo mediante esta técnica se pueden deducir producción horaria y productividad específica de la mano de obra alcanzables.
Teoría	Simogramas.
Bibliografía	NIEBEL, B. <i>Ingeniería industrial: Métodos, tiempos y movimientos</i> . 9a. edición. México: Alfaomega, 1996, p. 157.
Modelo práctico	Colorantes Naturales EIRL, una pequeña empresa agroindustrial localizada en Oxapampa que se dedica a la producción de concentrado de bixina con ley del 18% a partir de la semilla de achiote con 2.65% de colorante adquirida en la región durante la época en que se dispone de dicho insumo. Se desea aprovechar al máximo al equipo disponible laborando en tres turnos con el mínimo personal y la mayor productividad posibles.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se presenta el D.O.P para el procesamiento en lotes (*batches*) de 200 kg de semilla en la producción de 25 kg de concentrado de bixina.

1

4 sacos conteniendo cada uno 50 kg de semilla de achiote con 2.65% de colorante bixina son introducidos en el tanque de extracción T_1 . Conjuntamente con 300 litros de solución en agua de soda cáustica Na(OH) al 1% efectuándose la agitación de la mezcla con ayuda de una paleta, durante 10 minutos.

Completado el proceso de 1^{ra} dilución del colorante se efectúa el cernido del 1^{er} *cake* obtenido sobre el tanque de decantación y precipitación.

2

El *cake* resultante del cernido es cargado al tanque T_2 , conjuntamente con 300 litros de solución en agua de Na(OH) al 0.5%, efectuándose la agitación para mezclar y extraer bixina del *cake* durante 10 minutos.

Completado el proceso de 2^{da} dilución del colorante se efectúa el cernido del 2^{do} *cake* sobre el tanque de decantación y precipitación.

3

El 2^{do} *cake* es cargado al T_3 con 300 litros de H_2O , con agitación durante 5 minutos para la 3^{ra} dilución de colorante, efectuándose el cernido.

4

El 3^{er} *cake* es cargado al T_4 con 300 litros de H_2O , con agitación durante 5 minutos para la 4^{ta} dilución de colorante, efectuándose el cernido.

5

El 4^{to} *cake* es cargado al T_5 con 300 litros de H_2O , con agitación durante 5 minutos, efectuándose el cernido. La pasta residuo resultante es almacenada para su venta como alimento para ganado (≈ 500 kg/batch).

6

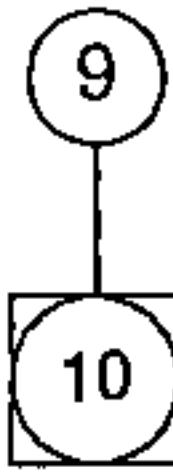
Completada la carga del tanque de decantación y precipitación, se procede a esperar una decantación natural durante 20 minutos. Se agregan 77 litros de ácido sulfúrico diluido en agua al 10% para producir la precipitación de 377 litros de pasta de bixina con un tiempo de tratamiento de 120 minutos.

7

Se desagota el tanque de decantación y precipitación. La pasta de bixina es introducida a un filtro-prensa para el prensado y filtrado de 100 kg de producto (*filter-cake*) durante 80 minutos.

8

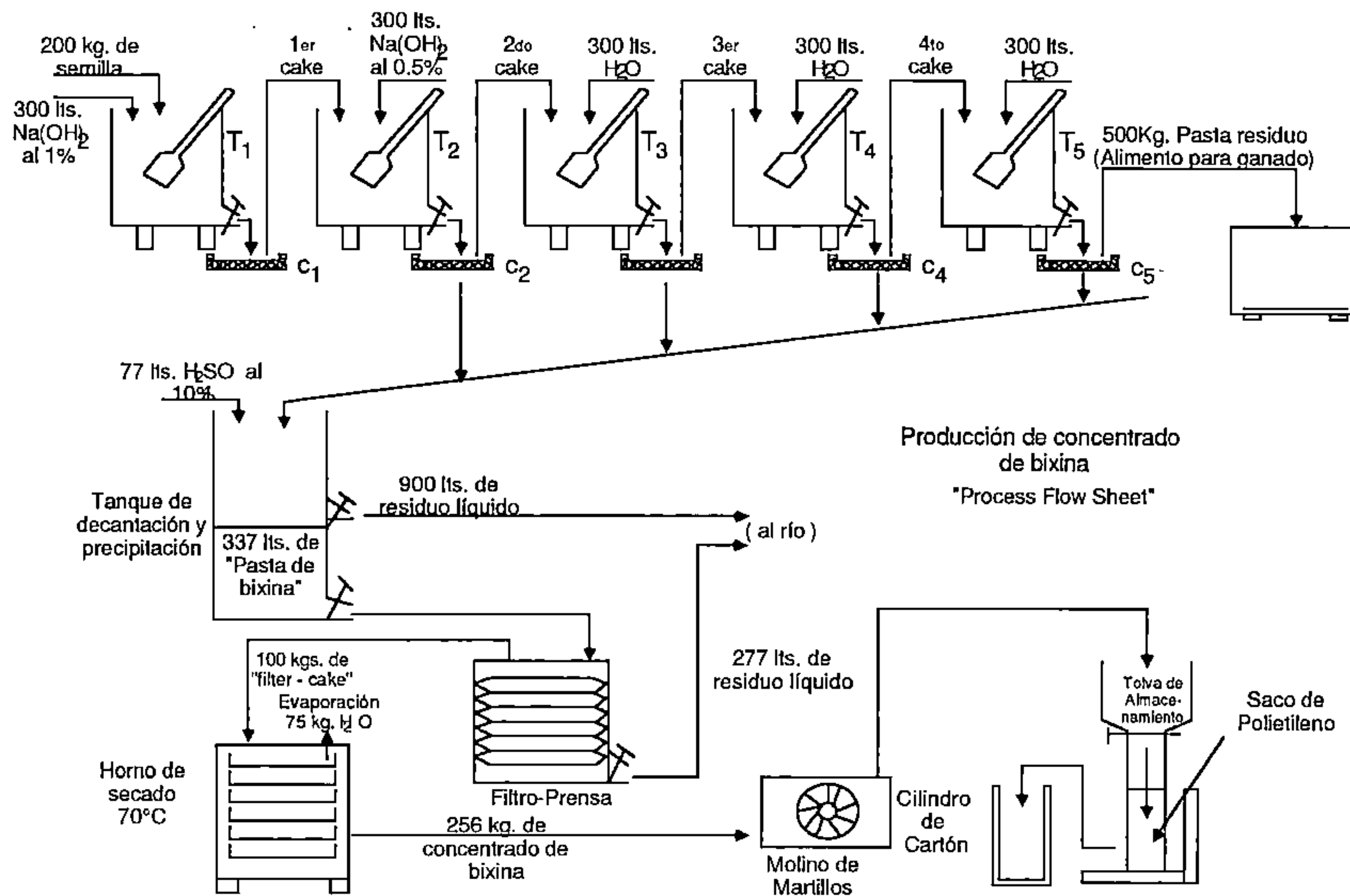
El *filter-cake* es colocado en bandejas e introducido en un horno de secado a temperatura de 70°C para reducir su humedad a menos de 10% con un tiempo de tratamiento de 10 Hrs/batch, obteniéndose 25 kg de concentrado de bixina en granos conteniendo 18% de colorante.



El concentrado es colocado en un "molino de martillos" para molienda durante 15 minutos.

El producto final es empacado en bolsas de polietileno de 50 kg de capacidad sobre balanza de control colocadas en tambores cilíndricos de cartón. Se efectúa un empaque cada dos "batches" en un tiempo de 10.5 minutos.

Paso 2: Se confecciona el Diagrama de Flujo del Proceso (Process Flow-Sheet).



Paso 3: Se confecciona el Balance de materiales.

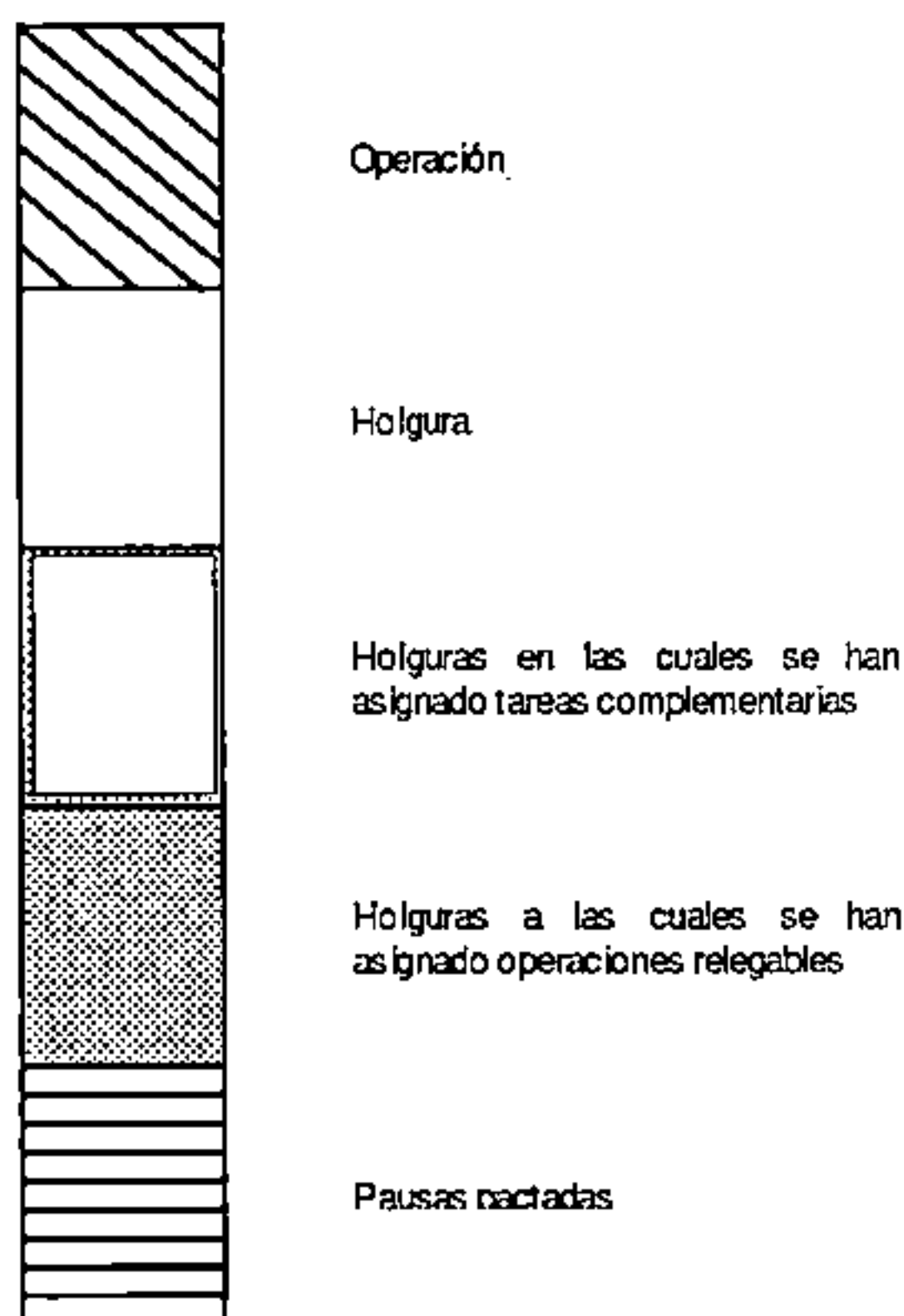
Balance de materiales para un "batch" de producción

	200 kgr. de semilla de achiote 2.65%	cargados al tanque T ₁
+	300 kgr. de Na(OH) ₂ al 1%	cargados al tanque T ₁
+	300 kgr. de Na(OH) ₂ al 0.5%	cargados al tanque T ₂
+	300 kgr. de H ₂ O	cargados al tanque T ₃
+	300 kgr. de H ₂ O	cargados al tanque T ₄
+	300 kgr. de H ₂ O	cargados al tanque T ₅
-	500 kgr. de pasta-residuo (alimento para ganado)	
+	77 kgr. de SO ₄ H ₂ al 10%	cargados al tanque de decant. y precip.
-	900 kgr. de residuo - líquido del tanque de decantación y precipitación	
-	277 kgr. de residuo - líquido del filtro - prensa	
-	75 kgr. de H ₂ O evaporados en el horno de secado	
	25 kgr. de concentrado de bixina 18%	

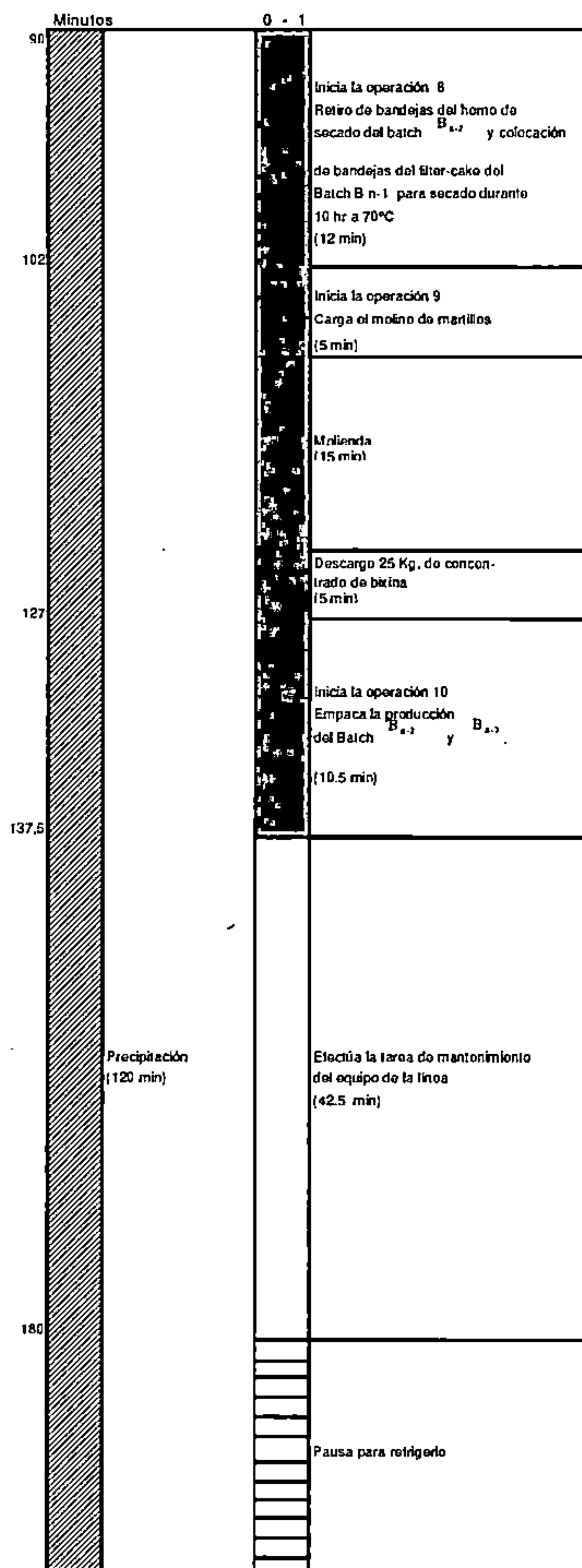
Paso 4: Con la ayuda del diagrama de operaciones del proceso (DOP) y el Process Flow Sheet se confecciona el simograma de actividades múltiples, es decir los diagramas de H. Gantt de la cuadrilla de trabajo que estará conformada según las necesidades resultantes de la programación por un operario (O₁) y un ayudante (O₂), este último a dedicación parcial.

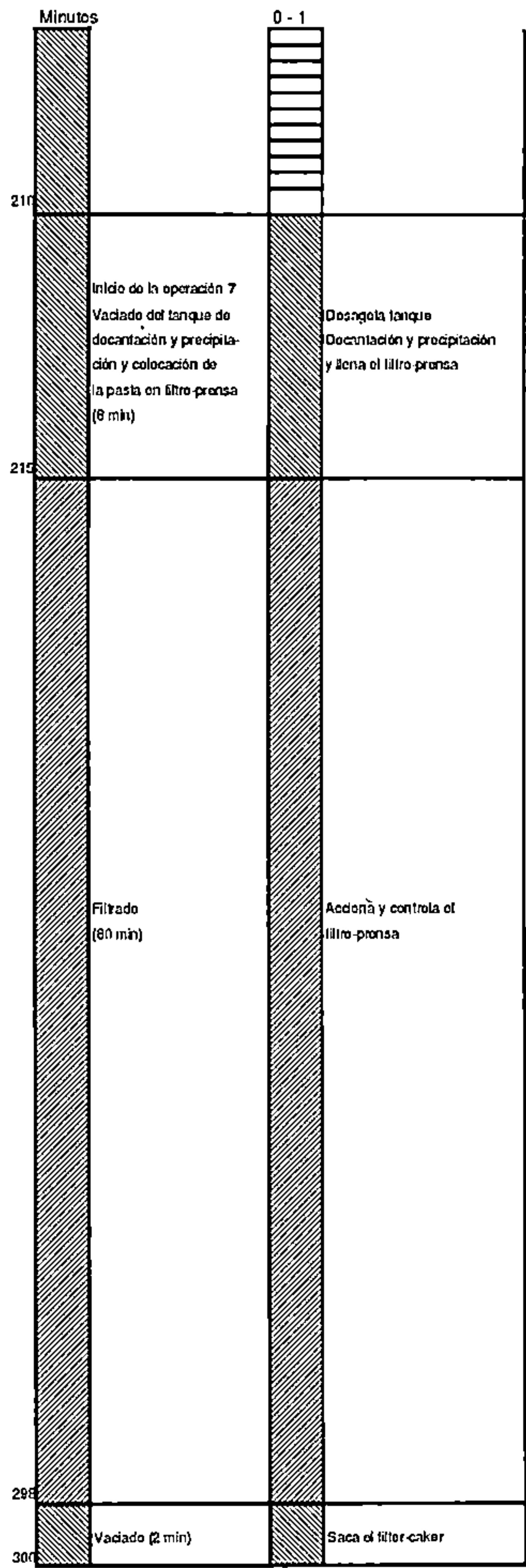
Paso 5: Efectuada una distribución racional de tareas, que necesariamente deben respetar precedencias, y precisadas las holguras, éstas son utilizadas para operaciones solapables, postergables y complementarias.

El simograma resultante es el siguiente, donde:



Minutos	0 - 1		0 - 2	
n				
	Inicio de la operación 1 Llenado del T- 1 (4 min)	Llena el T - 1	Ayuda en la carga de 4 sacos	
4				
	1º Extracción de colorante (10 min)	Agita la mezcla en el T - 1	Acarreo de materiales para el batch B _{n+1} (10 min)	
14				
16	Vaciado v comido del 1º cake (2 min)	Vacia v cuela el 1º cake sobre el tanque de decantación y precipitación		
	Inicio de la operación 2 Llenado del T-2 (4 min)	Llena el T - 2	Ayuda en la carga del T - 2	
20				
	2º Extracción de colorante (10 min)	Agita la Mezcla en el T - 2	Prosigue acarreo de materiales para la batch B _{n+1} (10 min)	
30				
32	Vaciado v comido del 2º cake (2 min)	Vacia v cuela el 2º cake sobre el tanque de decantación y precipitación		
	Inicio de la Operación 3 Llenado del T-3 (4 min)	Llena el T - 3	Ayuda en la carga del T - 3	
36				
	3º Extracción de colorante (5 min)	Controla la agitación de la mezcla en el T - 3	Ayuda a operario 1 según necesidades	
41				
43	Vaciado v comido del 3º cake (2 min)	Vacia v mezcla el 3º cake sobre el tanque de decantación y precipitación		
	Inicio de la operación 4 Llenado del T-4 (4 min)	Llena el T - 4	Ayuda en la carga del T - 4	
47				
	4º Extracción de colorante (5 min)	Controla la agitación de la mezcla en el T - 4	Ayuda a operario 1 según necesidades	
52				
54	Vaciado v comido del 4º cake (2 min)	Vacia v cuela el 4º cake sobre el tanque de decantación y precipitación		
	Inicio de la operación 5 Llenado del T-5 (4 min)	Llena el T - 5	Ayuda en la carga del T - 5	
58				
	5º Extracción de colorante (5 min)	Controla la agitación de la mezcla en el T - 5	Almacena pasta residuo subproducto : alimento para ganado (7 min)	
63				
65	Vaciado v comido del 5º cake (2 min)	Vacia v cuela el 5º cake sobre el tanque de decantación y precipitación		
	Inicio de la operación 6 Decantación natural (20 min)	Limpia cedazos v área de trabajo (20 min)	Ayuda a operario 1 en la limpieza de cedazos v área de trabajo (20 min)	
85				
	Agregada de ácido sulfúrico (5 min)	Agrega ácido sulfúrico en el tanque de decantación y precipitación	Ayuda en la carga de ácido sulfúrico en el tanque de decantación y precipitación	
90				





Paso 6: Completado el simograma se procede al cálculo de los tiempos del proceso: El tiempo estándar que se debe asignar a la tarea será de: 300 min.H del Oper 1 + 90 min.H del Oper 2 por cada batch de 25 kg de concentrado de bixina, es decir:

$$T_{std.} = \frac{(300+90) \frac{\text{min.H}}{\text{batch}} \times \frac{1}{60} \frac{\text{HH}}{\text{min.H}}}{25 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}} = 0.2600 \text{ HH/kg de concentrado}$$

y el tiempo esperado de procesamiento de un batch:

$$300 \text{ minutos} = 5 \text{ horas}$$

Paso 7: Con los tiempos obtenidos se puede calcular la capacidad instalada (CI) (laborando la planta 24 hr/día en 3 turnos).

Capacidad de procesamiento (CI₁)

$$CI_1 = \frac{24 \frac{\text{hr}}{\text{día}}}{5 \text{ hr.}} \times 200 \text{ kg de semilla} = 960 \frac{\text{kg de achiote}}{\text{día}}$$

Capacidad de producción (CI₂)

$$CI_2 = \frac{24 \frac{\text{hr}}{\text{día}}}{5 \text{ hr}} \times 25 \text{ kg de concentrado} = 120 \frac{\text{kg de concentrado de bixina}}{\text{día}}$$

Es decir que disponiendo diariamente de 960 kg de semilla de achiote se pueden obtener 120 kg. de concentrado de bixina.

Control de la producción, línea de balance LOB

Utilización	Tanto en la producción continua como en la de lotes (batches) es común contar con un control de entregas acumuladas reales vs. programadas, pero también es importante contar con puntos de control en el proceso para identificar así atrasos de actividades y adoptar medidas correctivas.
Teoría	Daily Control & Line of Balance (LOB).
Bibliografía	MUNIER, N. <i>Técnicas modernas para el planeamiento y control de producción</i> . Buenos Aires: Astrea, 1973, p. 431.
Modelo práctico	El circuito metalúrgico de cinc de una empresa minera recibe en la balanza de la cancha concentrados (SZn) con 53% de Zn que alimentan a los tostadores de cama turbulenta donde se produce calcina. (OZn) con 61% de Zn, que es bombeada neumáticamente a las <i>tolvas de almacenamiento</i>. De allí pasa a los tanques de lixiviación donde se efectúa una dilución selectiva con SO_4H_2 concentrado y O_2Mn, separándose insolubles con filtros a presión y enviándose la solución de SO_4Zn a los <i>tanques de solución impura</i> para su almacenamiento, y de allí a los <i>tanques de purificación</i> donde se separan por precipitación otras impurezas mediante filtros prensa, enviándose la solución pura a los <i>tanques de confrontación</i> y de allí a las celdas electrolíticas, donde la solución de SO_4Zn (0.13 kgr de Zn/litro) es el electrolito en ánodos de Pb y cátodos de Al, obteniéndose sobre estos últimos cosechas de cinc cada 16 horas. El cinc es delaminado y enviado a un horno de inducción de baja frecuencia para su fusión, y a un banco automático con capacidad de moldeo de 300 barras/hora de 26 kgr. de cinc de pureza 99.96% para su despacho.

La gerencia de operaciones desea implementar un sistema de control LOB y calcular el avance de la producción al 1 de febrero.

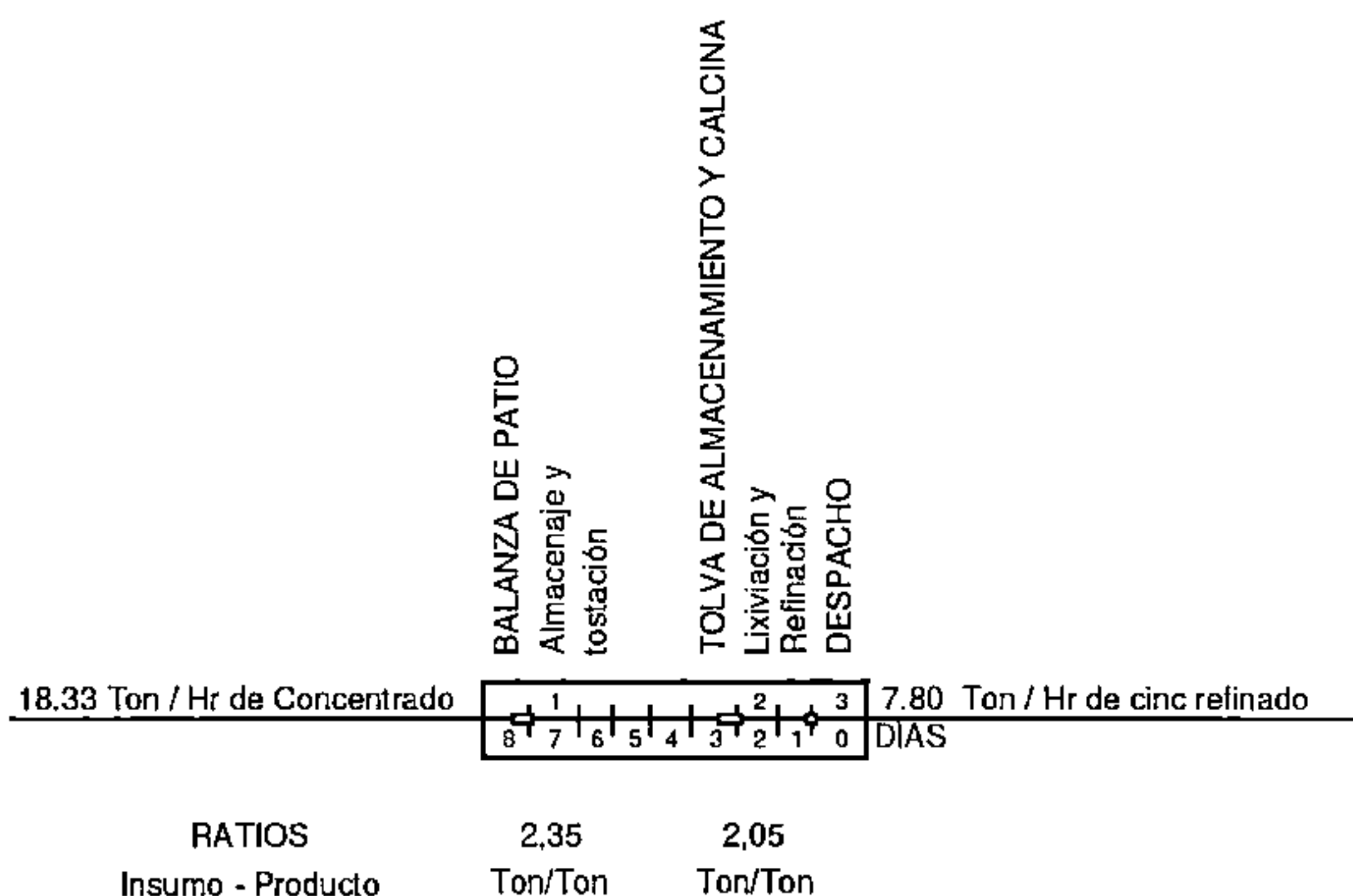
ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se confecciona el diagrama de ordenamiento y se definen los *puntos clave de control*. Cuanto más complejo el producto y mayor el número de actividades conexas, también lo serán los puntos de control.

En este caso se pudieron establecer hasta 5 puntos clave escogiéndose 3:

Puntos claves escogidos

Balanza de patio para concentrados	1
Tolvas de almacenamiento para calcina	2
Tanques de solución impura	
Tanques de confrontación	
Despacho de barras de cinc	3



Los ratios indican la cantidad de concentrado y calcina a procesar para la obtención de una tonelada del producto final.

Paso 2: Se confecciona el diagrama de objetivos de producción, cubriendo el período de interés (el comprendido entre el lanzamiento y la fecha prometida de finalización del trabajo para una O/T o el año para producción continua).

En este caso se programan las entregas acumuladas para el bimestre enero-febrero: 11,044.8 ton. considerando un total de 59 días de 24 horas laborables.

Paso 3: Se prepara la base para confeccionar el diagrama de avance a la derecha del anterior, con igual escala de ordenada y en abscisa, los puntos clave de control igualmente espaciados.

En la fecha de control (1 de febrero) se ubica la reglilla correspondiente al diagrama de ordenamiento, trazándose verticales hasta la línea de producción programada y desde sus intersecciones horizontales hasta encontrar las verticales del diagrama de avance, resultando una línea en escalera denominada línea de balance que indica la cantidad de producto que debe estar listo para cada punto de control el 1 de febrero para cumplir con lo programado.

Paso 4: El parte diario de producción permite graficar las entregas reales acumuladas al 1 de febrero para cada punto de control sobre el diagrama de avance.

CIRCUITO DE CINC			FECHA , 1 FEBRERO		
PARTE DIARIO DE PRODUCCION					
Preparado por :	PUNTOS DE CONTROL				
Revisado por	1. Balanza de Patio		2. Tolvas de Almacenamiento		3. Despacho
Aprobado por :	Concentr. Ton	Eq. de prod. Ton	Calcina Ton	Eq. De producc. Ton	Barras Ton
Programado	439.9		383.8		187.2
Prog. Acumulado	18 036.7	7 675.2	13 431.6	6 552	5 990.4
Real	440		383.7		187
Real Acumulado	16 750	7 127.6	11 705.5	5 710	5 271
Diferencia	0.1		- 0.1		- 0.2
Saldo Acumulado	- 1 286.7	- 547.6	- 1 726.1	- 842	- 719.4

El segmento ab en el diagrama de objetivos de producción indica el atraso existente: 5 días.

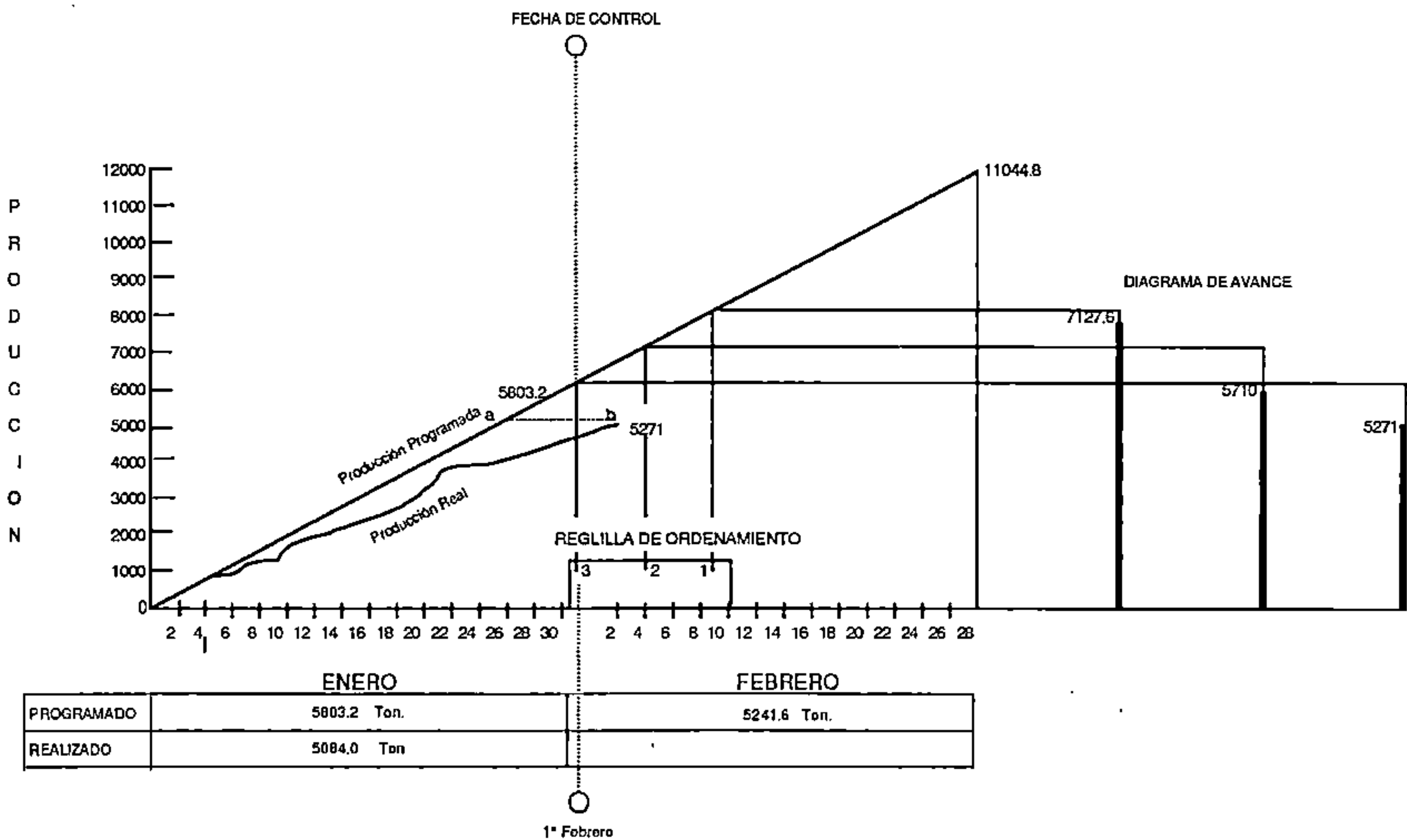


Diagrama de Gantt, control de avance de órdenes de trabajo (O/T)

Utilización	En una O/T deben controlarse las cantidades producidas, la calidad de los productos, la utilización de materias primas y mano de obra, y el tiempo empleado en la ejecución. Para este último son necesarios programación y control de avance y para ello no hay nada mejor que los diagramas de H. Gantt. La numeración correlativa de los días laborables y la simple subdivisión de éstos en diez partes —<i>períodos estándar</i>— aun cuando le correspondan distintas cantidades de horas, ha facilitado la aplicación de las gráficas de H. Gantt en la <i>programación</i> del trabajo. La poca utilización del diagrama de Gantt en el <i>control</i> del avance está estrechamente relacionada con el desconocimiento por parte de los supervisores de su metodología —por demás sencilla— y el beneficio que puede reportarles su uso —al menos en forma selectiva para ciertos casos—.
Teoría	Planeamiento y control de la producción.
Bibliografía	VORIS, W. <i>Control de la producción</i> . 3a. edición. Barcelona: Hispano Europea, 1983, p. 529.
Modelo práctico	En el taller de soldadura de una maestranza se programó enviar el día 100 de los laborables del año, una cuadrilla integrada por un soldador y un ayudante para el armado e instalación de un pedido de 10 rejas en una obra (O/T 412), con un tiempo de 4 HM/unidad.

Debido a la existencia de otros trabajos en curso, se dispuso que el personal seleccionado laborase en esta O/T 5 horas por día desplazando para ello al lugar de obra la máquina de soldar SE3.

La eficiencia esperada de la cuadrilla fue estimada en $\varepsilon = 80\%$, presupuestándose el empleo de 100 HH.

Al finalizar la jornada del día 104, el supervisor comprobó que se habían completado 2.0 rejas y cargado 30 HH a la O/T que, por terminar otros trabajos, se inició con un día de atraso, el día 101.

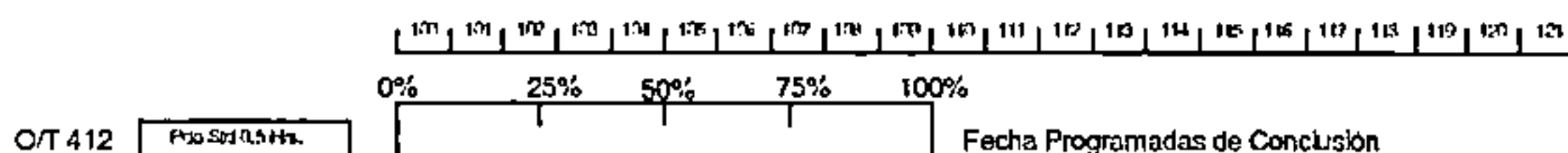
Se pregunta:

1. ¿Cuál es la fecha estimada de conclusión del trabajo que resulta del control?
2. ¿Cuál es la eficiencia real de la cuadrilla?
3. ¿Qué se puede hacer para concluir el trabajo en la fecha programada?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Fue la oportuna programación del trabajo.

$$N = \frac{10 \text{ Unidades} \times 4 \text{ HM/Unidad}}{0.8 \times 5 \text{ HM/día}} = 10 \text{ días}$$

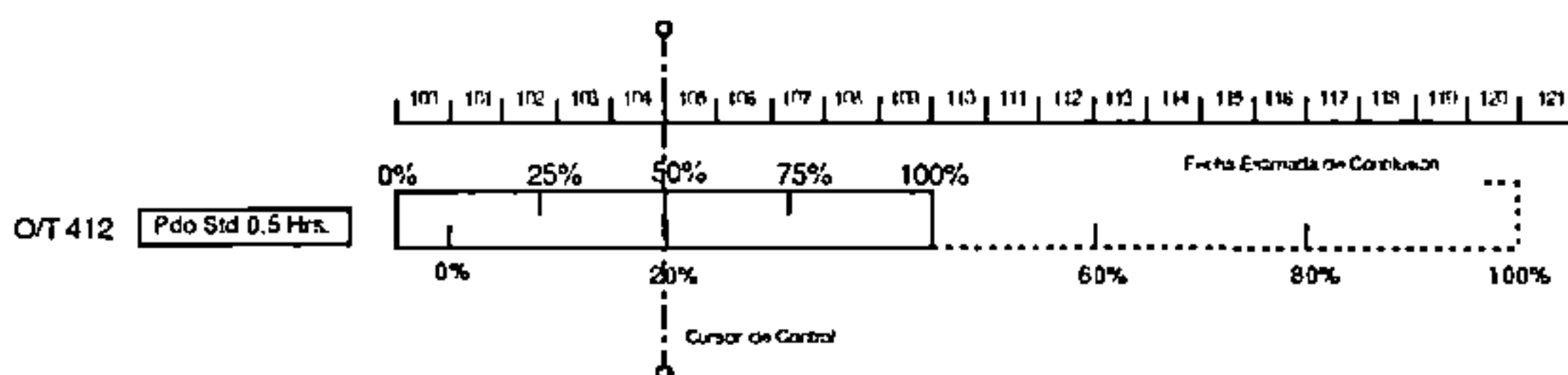


Estableciendo en la parte superior de la barra los porcentajes esperados de avance.

Paso 2: Fue la aplicación de un sistema de "follow-up" del trabajo, en este caso mediante un *cuaderno de obra* donde los integrantes de la cuadrilla registran sus horas de entrada y salida, la producción del día y ocurrencias del trabajo.

Este cuaderno permitió al supervisor comprobar los acumulados de 30 HH trabajadas y 2.0 unidades producidas al cierre de la jornada 104.

Paso 3: Se completa el diagrama de Gantt como se observa a continuación, haciendo uso del cursor de control (-.-.-), del vector avance (—) y de la extensión (.....):



Puede verse que:

1. Bajo la barra, en el momento de efectuarse el último control señalado por el cursor, se indica el porcentaje real de avance $2.0/10 = 20\%$
2. El 0% ha sido colocado al comienzo del día 101 por cuanto en esta fecha se inició el trabajo con un día de atraso.
3. El vector avance indica también el porcentaje de avance 20% pero en la escala de la programación.

4. En el momento de producirse el control debieron estar listas 5 rejas (50% del trabajo).
5. De continuarse al mismo ritmo: 2.0 rejas cada 4 días, el plazo de entrega se extendería en 11 días más de los 10 programados, con fecha estimada de conclusión el día 120.

Paso 4: Consiste en comprobar la eficiencia real de la cuadrilla:

$$\varepsilon = \frac{2.0 \text{ unid.} \times 8 \text{ HH/unid.}}{30 \text{ HH.}} = 53.3\%$$

Paso 5: Para cumplir con el trabajo en la fecha programada, el día 109 se deberá adoptar alguna medida correctiva. Existirán distintas opciones:

Opción 1 Motivar al personal mediante algún incentivo para que labore a $\varepsilon = 100\%$ en el armado e instalación de las 8 rejas faltantes durante los 5 días que quedan, para ello deberá extenderse su permanencia en obra a:

$$\frac{8.0 \text{ unidades} \times 4 \text{ hrs./unid.}}{100\% \times 5 \text{ días}} = 6.4 \frac{\text{hrs.}}{\text{día}}$$

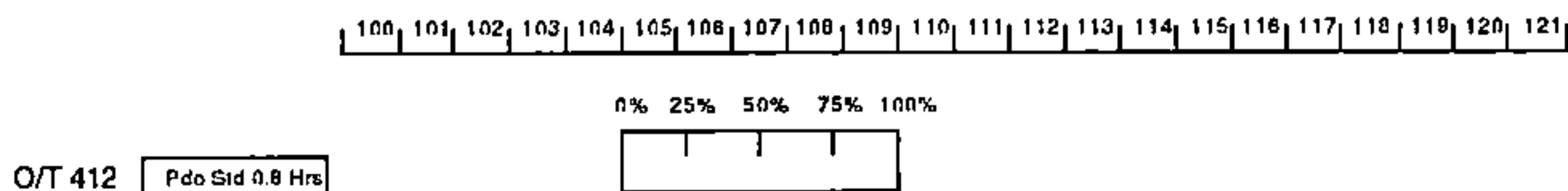
Opción 2 Exigir a la cuadrilla la $\varepsilon' = 80\%$ utilizada en los presupuestos, por corresponder la misma al rendimiento medio operario observado en trabajos anteriores, en cuyo caso se deberá disponer que el personal labore 8 horas diarias (7.5 normales y 0.5 como horas extra):

$$\frac{8.0 \text{ unidades} \times 4 \text{ hrs./unid.}}{80\% \times 5 \text{ Días}} = 8 \frac{\text{hrs.}}{\text{día}}$$

Opción 3 Exigir a la cuadrilla que recupere el tiempo perdido de modo de no cargar más de las 100 horas/hombre previstas, laborando con

$$\varepsilon' = \frac{8.0 \text{ unid.} \times 8 \text{ hrs./unid.}}{(100-30) \text{ HH}} = 91.43\%$$

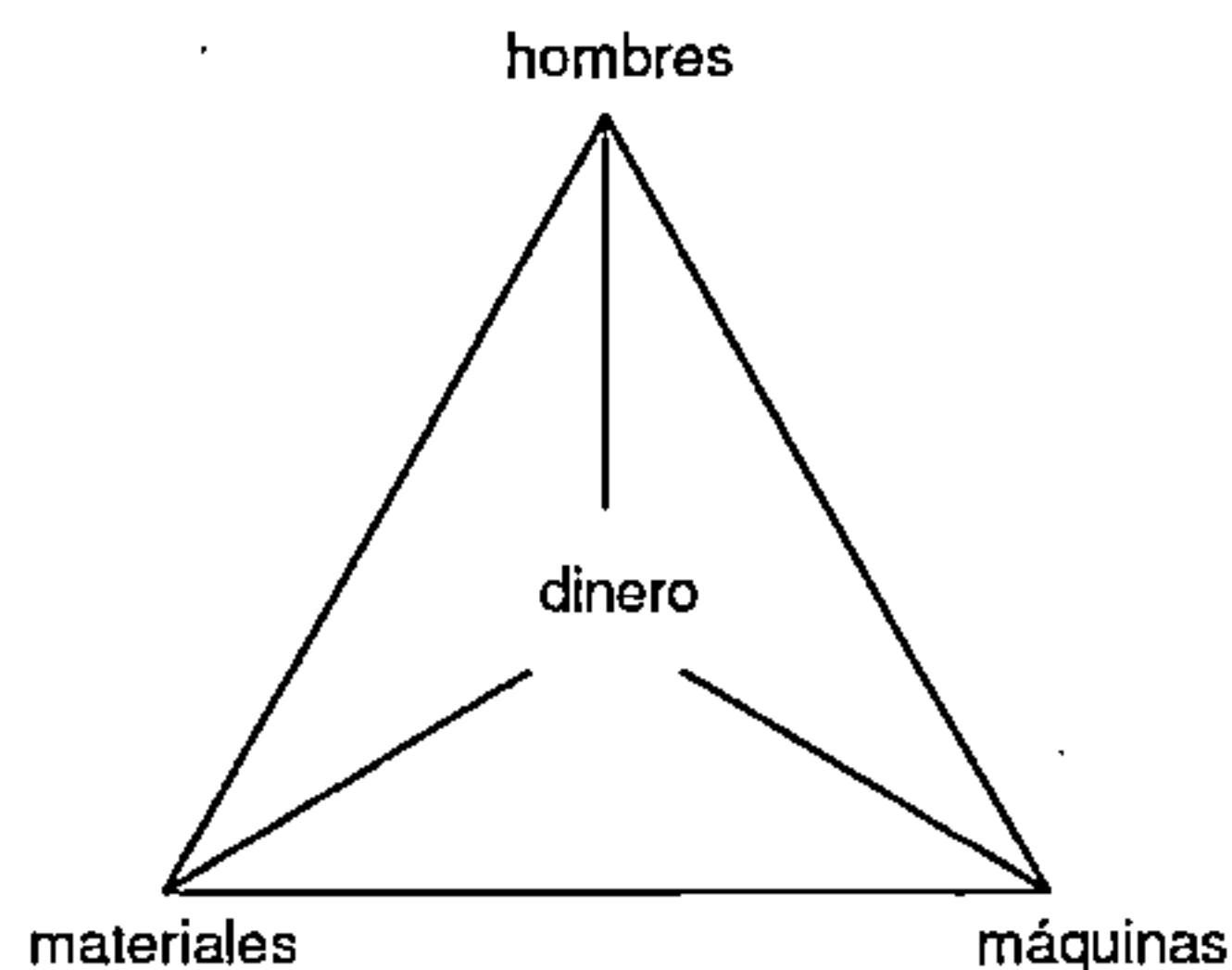
Escogida por alguna razón lógica la opción más conveniente, por ejemplo la opción 2 (aun cuando debió optarse por la 3) se podría proceder a “reprogramar” el amado e instalación de las 8 rejillas faltantes.



Esto no se estila, continuándose el control sobre el programa original hasta la conclusión del trabajo.

Tablero de comando, productividad, rendimiento, eficiencia y eficacia de los factores de la producción

Utilización	Son importantes las definiciones conceptuales de productividad, rendimiento y eficiencia:
Productividad	(P_d) es la razón producto/insumo. La productividad conjunta de los factores de la producción de una empresa:



Puede ser medida por
$$P_d = \frac{\text{Ventas}}{\text{Ventas} - \text{Utilidad neta}}$$

Existe, además de una productividad conjunta, una productividad específica de cada uno de los factores de la producción.

Rendimiento (η) es la relación entre lo aprovechado y lo entregado: $\eta \leq 100\%$

Eficiencia (ε) es la relación entre los resultados reales y los esperados (estándares o patrones fijados de antemano):

$$\varepsilon \leq 100\%$$

Eficacia (ε) es el grado de cumplimiento de los objetivos.

Rentabilidad (ρ) es la razón utilidad neta/patrimonio cuando nos referimos a la rentabilidad del capital.

Otros indicadores de interés general en la empresa industrial son:

Margen de utilidad sobre ventas, razón
$$\frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ventas}}$$

Rotación del activo corriente, razón
$$\frac{\text{Ventas}}{\text{Activo corriente}}$$

Rentabilidad marginal de un proyecto, razón
$$\frac{\Delta \text{ Utilidad neta}}{\Delta \text{ Patrimonio}}$$

Recuperación, razón
$$\frac{\text{contenido de un elemento en el producto}}{\text{contenido del elemento en el insumo}}$$

Cuando extendemos la utilización de estos conceptos a distintos sectores de la actividad económica, divisiones funcionales de una empresa, productos y períodos resulta un sinnúmero de indicadores utilizables para comparar y tratar de mejorar combatiendo, mediante acciones correctivas, las causales de improductividad.

La gerencia por objetivos o resultados es aplicable en la empresa industrial cuando para cada una de sus áreas funcionales se establecen indicadores de productividad, rendimiento y eficiencia de los principales factores de su producción, ya sea la misma de bienes o servicios, y se definen límites permisibles para ellos, sobre los cuales se introduce el control por excepción.

Se construye, así, con el organigrama de la empresa, un *tablero de comando* conformado por los indicadores y límites de control seleccionados por cada área funcional.

Teoría	Gerencia por objetivos. Control por excepción.
Bibliografía	BIASCA, R. <i>Productividad. Un enfoque integral del tema</i>. Buenos Aires: Macchi, 1984, p. 127. PROKOPENKO, J. <i>La gestión de la productividad</i>. Manual práctico. Ginebra: OIT, 1989, p. 25.
Modelo práctico	En la sección esmaltado de una fábrica de artefactos para el hogar están instaladas 3 cabinas para el sopleteado de partes para el ensamblaje.

Para el mes, trabajando un turno de 8 horas (7.5 laborables) los 26 días hábiles, se programaron 573 horas hombre para el esmaltado de 61,713 m² de partes aceptadas, con un consumo de esmalte de 19,087 kgr.

Finalizado el mes, se comprobó que se utilizaron en las órdenes de trabajo correspondientes 557 horas hombre, consumiéndose 19,127 kgrs. de esmalte, para producir 59,490 m² de partes aceptadas por control de calidad, que para ello revisó 62,640 m² de partes esmaltadas por los operarios de la sección.

Los folletos de las pistolas para pulverizar y las instrucciones del proveedor de esmaltes indican que, cumpliendo con las especificaciones respecto de presión del aire comprimido, densidad del esmalte y aplicando una película del espesor recomendado para lograr un buen poder cubritivo, la productividad debería ser de 123.3 m²/hora hombre.

Se desea:

1. Definir los indicadores que se incluirán en el tablero de comando.
2. Establecer límites para efectos de introducir el control por excepción.
3. Enumerar posibles causales de deficiencias.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se define que se debe controlar:

1. Producción mensual (m²)
2. Labor (HH)
3. Esmalte (kg)
4. Defectuosas (%)

Paso 2: Se define los *esperados*

1.	Horas máquina disponibles	$H_d = 585 \text{ HH}$
2.	Tiempo tipo de esmaltado	$T_{std} = 0.0081 \text{ HH/m}^2$ $= 0.0081 \text{ HM/m}^2$
3.	Consumo unitario de esmalte	$m_{std} = 0.300 \text{ Kg/m}^2$
4.	Defectuosas	$d' = 3\%$
5.	Rendimiento medio operario	$A' = 90\%$
6.	Factor de uso de la máquina	$C' = 98\%$

Paso 3: Se asignan los recursos:

Siendo el $T_{std} = \frac{1}{123.3 \text{ m}^2/\text{HH}} = 0.00811 \text{ HH/m}^2$ para el esmaltado de

$$Q' = \frac{H_d A' C'}{\frac{T_{std}}{1-d'}} = \frac{585 \text{ HH} \times 0.90 \times 0.98}{\frac{0.00811 \text{ HM/m}^2}{1-0.03}} = 61713 \text{ m}^2$$

Utilizando un *manpower* (horas operario):

$$H_o = H_d \times C' = 573 \text{ HH}$$

Siendo el $m_{std} = 0.300 \text{ kg/m}^2$, la cantidad requerida en esmalte será:

$$M = \frac{Q'}{1-d'} m_{std} = \frac{61713 \text{ m}^2}{1-0.03} 0.3 \text{ kg./m}^2 = 19087 \text{ kg.}$$

Procesando $I' = \frac{Q'}{1-d} = \frac{61713 \text{ m}^2}{1-0.003} = 63622 \text{ m}^2$

Paso 4: Se planea la producción del mes y se realiza en forma controlada.

Sección esmaltado	Programado	Realizado
Parte mensual		
Procesamiento	63,622 m ²	62,640 m ²
Producción	61,713 m ²	59,490 m ²
Labor	573 HH	557 HH
Esmalte	19,087 Kg	19,127 Kg

Paso 5: Se definen los indicadores:

1. Defectuosas (esperado y real)

$$d = 1 - \frac{61713 \text{ m}^2}{63622 \text{ m}^2} = 3\%$$

$$d = 1 - \frac{59490 \text{ m}^2}{62640 \text{ m}^2} = 5\%$$

2. ε - Calidad

$$\varepsilon_c = d'/d = 0.03/0.05 = 59.7\%$$

3. Productividad específica de la mano de obra
(estándar, esperada y real)

$$Pd_{\text{ope.std}} = \frac{1}{\frac{T_{\text{std}}}{1-d'}} = \frac{1}{\frac{0.00811}{1-0.03}} = 119.6 \text{ m}^2/\text{HH}$$

$$Pd'_{\text{operarios}} = A' Pd_{\text{std}} = 0.90 \times 119.6 = 107.6 \text{ m}^2/\text{HH}$$

$$Pd_{\text{operarios}} = \frac{1}{\frac{T_{\text{real}}}{1-d}} = \frac{1}{\frac{557\text{HH}/62640 \text{ m}^2}{1-\frac{59490}{62640}}} = 106.8 \text{ m}^2/\text{HH}$$

4. Rendimiento medio operario (esperado y real)

$$A' = \frac{Pd'_{\text{operario}}}{Pd_{\text{ope.std}}} = \frac{107.6 \text{ m}^2/\text{HH}}{119.6 \text{ m}^2/\text{HH}} = 90.0\%$$

$$A = \frac{Pd_{\text{operario}}}{Pd_{\text{ope.std}}} = \frac{106.8 \text{ m}^2/\text{HH}}{119.6 \text{ m}^2/\text{HH}} = 89.3\%$$

5. Factor de uso de la maquinaria (esperado y real)

$$C' = \frac{585 \text{ HM} - 12 \text{ HM}}{585 \text{ HM}} = 98\%$$

$$C = \frac{557 \text{ HH}}{585 \text{ HH}} = 95.2\%$$

6. Eficiencia (esperada y real)

$$\varepsilon' = A' \cdot C' = 0.90 \times 0.98 = 88.2\%$$

$$\varepsilon = A \cdot C = 0.893 \times 0.952 = 85.0\%$$

7. Eficacia ($E = \varepsilon' / \varepsilon$)

$$E = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{programado}}} = \frac{A \cdot C}{A' \cdot C'} = \frac{59490 \text{ m}^2}{61713 \text{ m}^2} = 96.4\%$$

8. Productividad específica de la materia prima (esperada y real)

$$Pd'_{\text{esmalte}} = \frac{1}{\frac{m_{\text{std}}}{1-d'}} = \frac{1}{\frac{0.300 \text{ Kg/m}^2}{1-3\%}} = \frac{1}{0.309 \text{ Kg/m}^2} = 3.23 \text{ m}^2/\text{Kg}$$

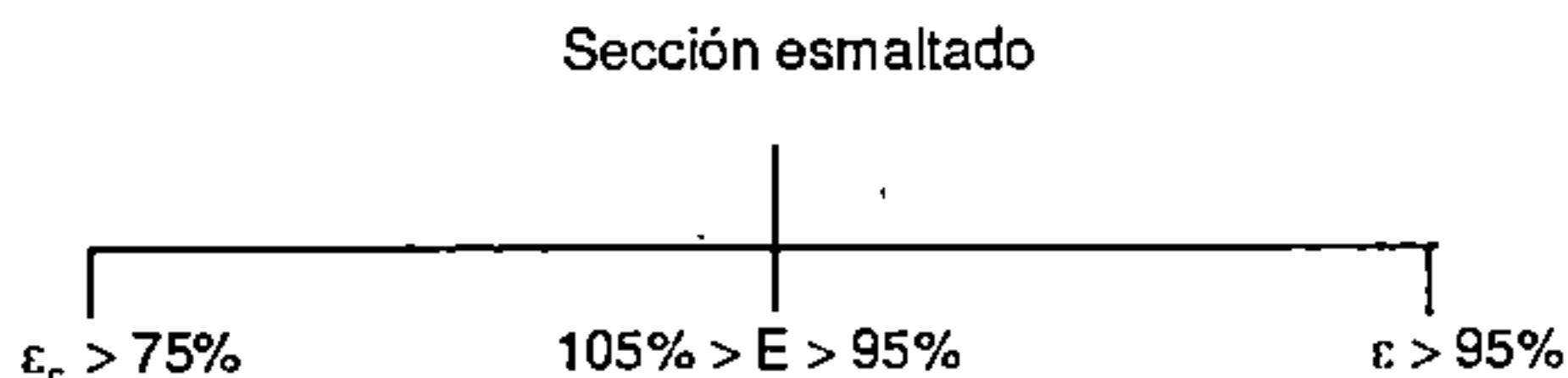
$$Pd_{\text{esmalte}} = \frac{1}{\frac{m}{1-d'}} = \frac{1}{\frac{19127 / 62640}{1-59490 / 62640}} = \frac{1}{\frac{0.305 \text{ Kg/m}^2}{1-5\%}}$$

$$= \frac{1}{0.321 \text{ Kg/m}^2} = 3.11 \text{ m}^2/\text{kg}$$

9. ε - consumo

$$\varepsilon = \frac{19087 \text{ Kg} / 61713 \text{ m}^2}{19127 \text{ Kg} / 59490 \text{ m}^2} = \frac{0.309 \text{ Kg/m}^2}{0.321 \text{ Kg/m}^2} = 96.3\%$$

Paso 6: Se seleccionan los indicadores a utilizar en la gerencia por objetivos y se fijan límites para el control por excepción, confeccionando una pieza del mosaico *tablero de comando de la empresa*



Paso 7: Se someten a un análisis riguroso las causas que han provocado:

- Menor producción.
- Desaprovechamiento de horas/máquina y horas/hombre.
- Mayor consumo de esmalte.
- Menor calidad (por debajo de la aceptable en el tablero de comando).

¿Falta de motivaciones e incentivos? ¿Asistencia social? ¿Supervisión deficiente? ¿Falta de seguimiento de los suministros y control de los operarios? ¿Carencia de instrucciones? ¿Falta de capacitación o entrenamiento de algún operario? ¿Habilidad, esfuerzo o constancia? ¿Búsqueda de los sobretiempos? ¿Mala preparación del esmalte? ¿Adición inapropiada de solventes? ¿Recubrimiento excesivo de algunas piezas? ¿Baja calidad del esmalte? ¿Descuido o falta de concentración de los operarios? ¿Dolo? ¿Falta de la limpieza de los sopletes? ¿Mala operación de la compresora? ¿Mal mantenimiento del equipo? ¿Averías de equipo e instalaciones? ¿Desabastecimiento de piezas a esmaltar y esmalte? ¿Ausentismo del personal? ¿Interrupciones por fuerza mayor? ¿Paro sindical? ¿Huelga? ¿Falta de fluido eléctrico? ¿Duelo?

Se trata en definitiva de:

- Deficiencias de diseño
- Deficiencias administrativas
- Deficiencias de los operarios

Paso 8: Se adoptan medidas correctivas para producir más con menos horas/hombre, materia prima y unidades defectuosas, disminuyendo plazos de entrega, inversión en maquinaria, utillaje e inventario de producción en proceso, reduciendo los costos.

Lo importante no es medir la productividad, sino incrementarla. El éxito es el fruto consecuente y merecido del esfuerzo y la constancia, de la organización, disciplina y coordinación, y de la habilidad y sabiduría.

Productividad de la maquinaria, paro dispuesto, paro operativo, paro vario y merma

Utilización

Rendimiento medio operativo (A) y factor de uso de la maquinaria (C) son indicadores generalmente suficientes para la programación y el control de la producción industrial. Otras veces y para ciertos grupos de máquinas se requiere de una detallada "data" relativa a eficiencias y rendimientos alcanzables y alcanzados para comparar y mejorar, manteniendo bajo control la productividad, para lo cual, a su vez, es fundamental la estandarización de los indicadores.

Se han establecido las siguientes normas:

Horas posibles (H_p) son las que una máquina habría podido trabajar en el período de tiempo sujeto a control (ejemplo: 168 horas semanales).

Horas disponibles (H_d). Ciertas razones ajenas a una empresa obligan a su dirección a reducir las horas laborables (ejemplo: descanso dominical, paro para refrigerio, festividades, demanda) resultando los *paros dispuestos* (P_d) y $H_p - P_d = H_d$.

Paros industriales (P_i). Los que se prevé que se producirán, sujetos a una ley fija o con una cierta frecuencia por no poder las máquinas trabajar automática y continuamente $P_i = P_v + P_o$.

Paro vario (P_v). Son los no controlables por el operador (ejemplo: paros por reparación de máquina, por falta de insumos) para los cuales se pueden hacer previsiones en base a datos históricos o estimaciones de los supervisores.

Paro operativo (P_o). Los controlables por el operador (ejemplo: alimentación, preparación, lubricación y limpieza de la maquinaria). Son función de la eficiencia del operador.

Horas operativo (H_o). Es el tiempo en que la máquina está bajo atención del operativo: $H_o = H_d - P_v = H_d \times C$

Horas nominales (H_n). Es el tiempo en que la máquina estuvo nominalmente en condiciones de producir a pleno, considerando tiempos tecnológicos (T_t) o tecnomanales (T_{tm}) de operación. $H_n = H_o - P_o$.

Horas teóricas (H_t). Es el tiempo en que la máquina habría podido efectuar la producción real (Q_r) trabajando a su velocidad instantánea ($1/T_t$ ó $1/T_{tm}$).

Merma (M). Es la pérdida de producción que no pudo cuantificarse a priori. Cuando se la puede detectar deja de ser merma y se convierte en paro industrial. $M = H_n - H_t$.

Se ha establecido siete indicadores, para grupos de máquinas idénticas

$$HM = N \text{ (máquinas)} \times H \text{ (horas máquina/máquina)}$$

U	= Utilización	= HM_d/HM_p	Indicadores los que no inter - viene HMt
RHM_n	= Rendimiento hora máquina nominal	= HM_n/HM_d	
RHM_o	= Rendimiento hora máquina operario	= HM_n/HM_o	
η_c	= Rendimiento comercial	= HM_i/HM_p	indicadores en los que intervienen HMt
η_i	= Rendimiento industrial	= HM_i/HM_d	
ϵ_n	= Eficiencia nominal de la maquinaria	= HM_i/HM_n	
η_o	= Rendimiento operario	= HM_i/HM_o	

Teoría Estudio del trabajo. Planeamiento y control de la producción.

Bibliografía Normas del Centro Nacional de Productividad Industrial, España.

Modelo práctico Una máquina para soldar por arco sumergido, atendida por un operario, es asignada a la fabricación de balones de gas, laborando en dos turnos, 90 horas para la semana que se inicia.

Se le asigna dos pedidos:

1. Soldadura de brida a casquete superior
2. Soldadura de casquetes superior e inferior

Pedido	Tstd = Ttec + Tman (HM/u)	D (Unidades)
I	0.01667 = 0.01111 + 0.00556	1500
II	0.03333 = 0.02639 + 0.00694	1500

Considerando para ello la expresión $N = \frac{\sum T_{std} \frac{D}{1-d}}{A \cdot C \cdot H_d}$

- Rendimiento medio de los operarios A = 96%
- Factor de uso de la maquinaria C = 89%
- Defectuosas del proceso d = 2.5%

Concluida la semana de 90 horas laborables, las partes señalaron que la producción aceptada por control de calidad había sido de 1500 u para el pedido I y 1389 u para el pedido II, cargándose 76 HH y siendo las unidades rechazadas $d_I = 38$ u y $d_{II} = 34$ u.

Se requiere calcular los siete indicadores.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Corresponde al cálculo de las *horas posibles*.

$$HM_p = 7 \text{ d/s} \times 24 \text{ hrs/d} \times 1 \text{ Maq} = 168 \text{ HM}$$

Paso 2: Corresponde al cálculo de *paro dispuesto* y *horas disponibles*, considerando el descanso dominical, la factibilidad de laborar dos turnos para satisfacer la demanda de 1,500 balones semanales, los restantes seis días y una pausa de ½ hora para refrigerio a mediados de cada turno.

$$P_d = 24 \text{ hrs} + 8 \text{ hrs/d} \times 6 \text{ días} + 0.5 \text{ hrs} / \text{tur} \times 2 \text{ tur} / \text{día} \times 6 \text{ día} = 78 \text{ HM}$$

$$HM_d = HM_p - P_d = 168 - 78 = 90 \text{ HM}$$

Paso 3: Se calcula el *paro vario* y las *horas operario* que corresponde al presupuestado factor de uso de la máquina (C).

$$P_v = (1 - C) \quad HM_d = (1 - 0.89) 90 = 10 \text{ HM}$$

0.5	HM para preparación de máquina
+7.5	HM para mantenimiento programado
+2	HM previsión por deficiencias en el suministro de insumos

$$P_v = 10 \text{ HM}$$

$$HM_o = HM_d - P_v = 90 - 10 = 80 \text{ HM}$$

Paso 4: Se calculan las *horas nominales* a partir del tiempo tecnológico.

$$HM_n = (0.01111 + 0.02639) HM / u \frac{1500u}{1 - 0.025} = 57.7 \text{ HM}$$

Paso 5: Se calcula el *paro operativo* que corresponde al presupuestado rendimiento medio operativo (A).

P_o	=	HM_o	-	HM_n	=	22.3	HM
				20			HM de atención $(\sum T_{man} \frac{D}{1-d} / A)$
			+	2.3			HM previsión demoras personales
P_o	=			22.3			HM

Paso 6: Se calculan las *horas teóricas* y la *merma* considerando la producción real.

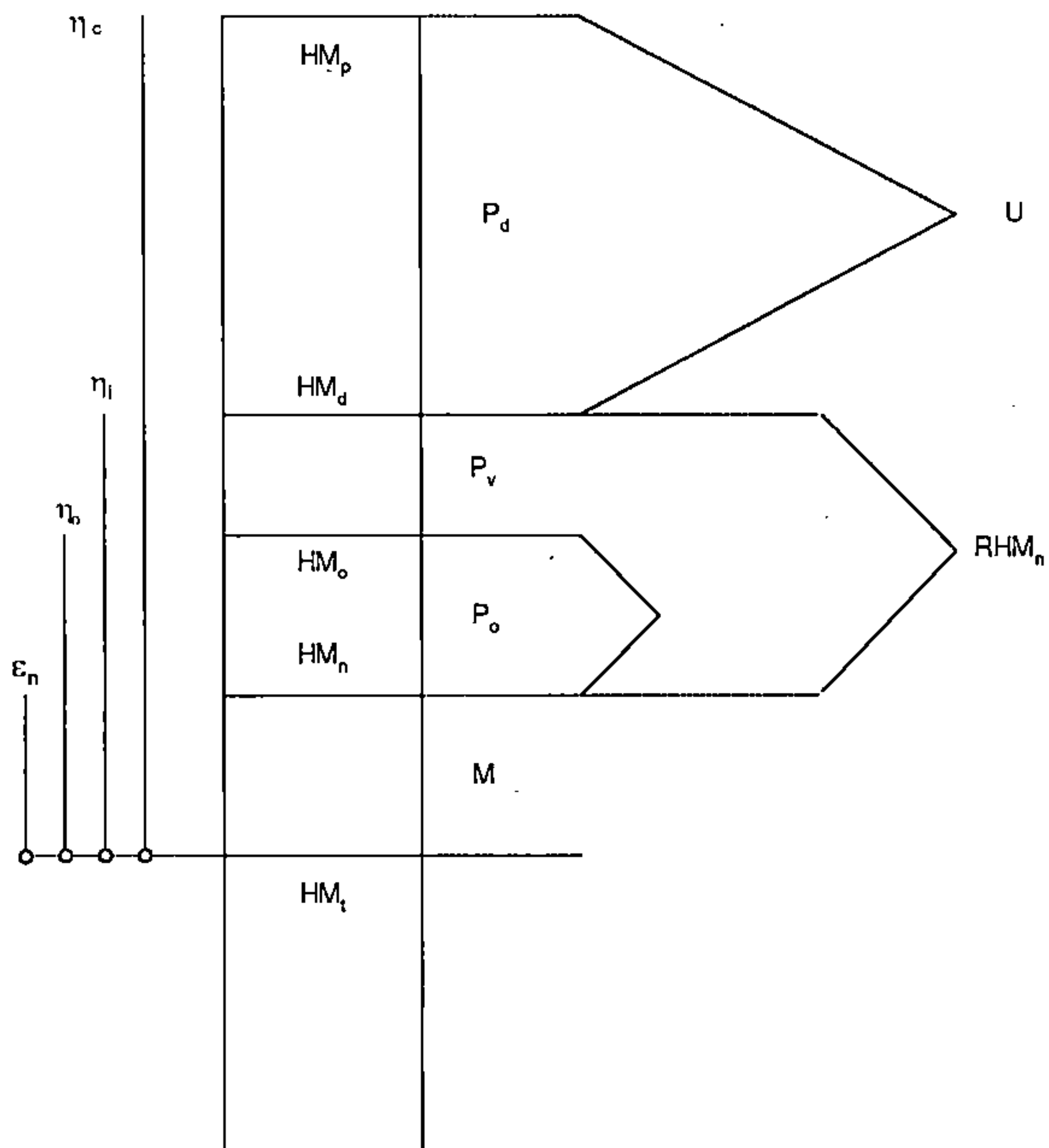
$$HM_t = 0.01111 \frac{1500}{1 - 38/1538} + 0.02639 \frac{1389}{1 - 34/1423} = 54.6 \text{ HM}$$

$$M = HM_n - HM_t = 57.7 - 54.6 = 3.1 \text{ HM}$$

Paso 7: Se calculan los indicadores:

Utilización	U	53.57%
Rendimiento hora/máquina nominal	RHM_n	64.11%
Rendimiento hora/máquina operativo	RHM_o	72.13%

Rendimiento comercial	η_c	32.50%
Rendimiento industrial	η_i	60.67%
Rendimiento operativo	η_o	68.25%
Eficiencia nominal de la máquina	ε_n	94.63%



○ Indica el numerador del ratio correspondiente

Costo horario de producción y cotizaciones de precios en fabricaciones a pedido

Utilización	En empresas cuyas plantas se dividen en centros productivos agrupando maquinaria y personal especializado en una función, la contabilidad industrial es la única herramienta para elaborar presupuestos de costos de los diferentes productos, y el grupo humano a ella dedicado es importante para el control de costos y la definición de precios; en especial cuando los costos y niveles de actividad de los centros productivos son disímiles, los pedidos numerosos y para colmo se presenta el problema de la inflación.
Teoría	Presupuestos industriales.
Bibliografía	Varios autores. <i>Contabilidad de costos</i> .
Modelo práctico	Un propietario de una empresa individual de sastrería ha instalado su pequeño taller de hechuras a medida y confecciones de pequeñas series de ternos, en un local arrendado de 13 años de antigüedad por el cual paga el justiprecio de alquiler mensual, considerando el valor de los terrenos en la localidad, el costo de la construcción y su castigo por depreciación (3% anual).

$$\text{Alquiler} = \frac{0.06 \text{ Avalúo del local}}{12} = 87.50 \text{ \$ /mes}$$

Siendo el avalúo:

Terreno	$110 \text{ m}^2 \times 20 \text{ \$ /m}^2$	1,350
Construcción	$88.25 \text{ m}^2 \times 300 \text{ \$ /m}^2 (1 - 0.03 \times 13)$	<u>16,150</u>
		\$ 17,500

La sastrería cuenta con dos máquinas de costura del tipo doméstico equipadas con todos sus accesorios. El propietario, que se ha fijado un sueldo de 400 \$/mes como administrador del negocio, da empleo estable a dos sastres, tiene planes para adquirir remalladora, pretinadora y ojaladora para mejo-

rar la calidad de sus productos y reducir los tiempos de corte y confección, cuyos promedios son actualmente:

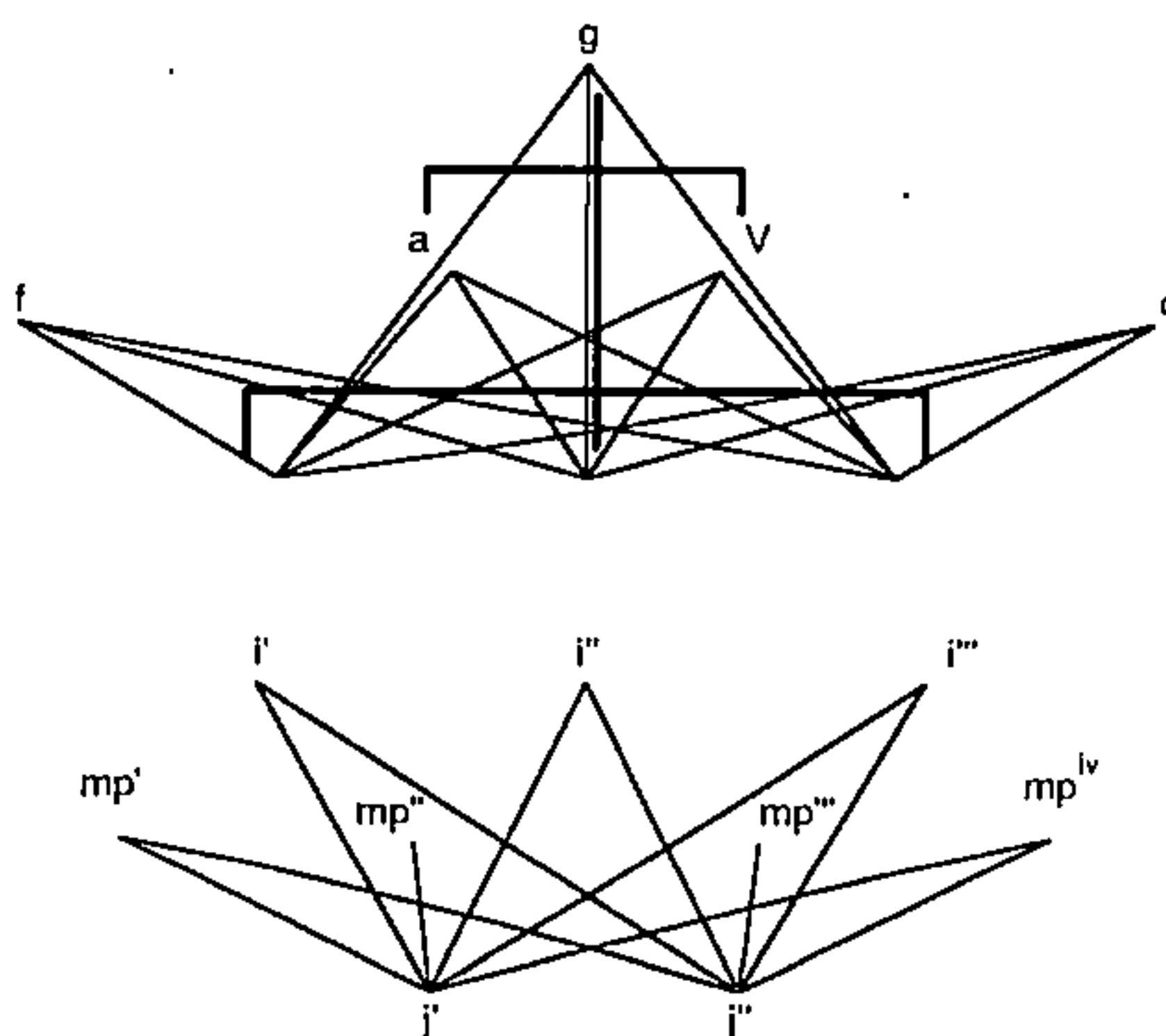
Artículo	Tstd (HH/u)
Pantalón	4
Chaleco	4
Saco	20

A fines de abril, un pedido de una tienda comercial solicitándole cotización por dos docenas de pantalones de lanilla para *teenagers* (13 a 19 años) con un *mix* de 30% short, 35% medium y 35% large, según modelo de una revista; le exige establecer un *presupuesto de precio, plazo de entrega y forma de pago*.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

En la contabilidad industrial importa la distribución de los gastos de administración y ventas, gastos financieros y contribuciones habidos en un ejercicio, en función del servicio brindado a cada centro productivo o en forma proporcional al trabajo encomendado de cada centro productivo (horas hombre *standard*), sumándose allí con los respectivos costos de mano de obra y gastos generales de fabricación, con la finalidad de definir para el *nivel de actividad* sus *costos horarios* (CH_i) y poder con éstos calcular los costos unitarios de los productos (j):

$$C_i \left(\frac{\$}{U} \right) = \frac{\sum CMP_i + Q_i \sum Tstd_{ij} \times CH_j}{Q_i}$$



g, a, v	gastos de administración y ventas de los centros de servicio
f, c	gastos financieros y contribuciones de la empresa
i', i'', i'''	costos de mano de obra y gastos generales de fabricación de los centros productivos.
mp', mp'',...	costo de materias primas empleadas en cada producción
j', j''	costos de los productos

Paso 1: Se calcula el *nivel de actividad* del último ejercicio.

Productos	Cantidad Q (u)	Horas hombre Std			
		Pantalones	Chalecos	Sacos	Total
Ternos	15	60	60	300	420
Ambos	65	260	-	1300	1560
Sacos sueltos	30	-	-	600	600
Pantalones sueltos	170	680	-	-	680

NIVEL DE ACTIVIDAD 3260 HH

Paso 2: Se observa el balance del último ejercicio y se calcula la *rentabilidad del capital*.

Activo (*)		Pasivo	
Activo no corriente	3200	Deuda	1800
Inmuebles, maquinaria y equipo	2700	Cuentas por pagar	200
Inversiones intangibles	500	Provisiones	1600
Activo corriente	1900	Patrimonio	3300
Caja y bancos	400	Capital K	2600
Existencias	1100	Utilidades no distribuidas	700
Cuentas por cobrar	400		
	\$ 5100		\$ 5100

Notas (*): Dos máquinas de costura, mesa para el trazado y corte, estantería para depósito de elementos de trabajo, escritorio, sillas, tijeras, plancha, herramientas varias, una calculadora, un espejo de pared y enseres menores constituyen la inversión en inmuebles, maquinaria y equipo.

Plantillas, revistas de modas, muestrarios, licencia de funcionamiento, línea telefónica, libros contables y de planillas conforman la inversión intangible.

Telas, forros, hilos, cierres, botones y broches, fundas, colgadores y material de empaque, agujas, tijas y repuestos de máquinas, materiales de oficina, de limpieza y de primeros auxilios son las existencias.

$$\text{Rentabilidad} \quad \rho (\%) = \frac{\text{Utilidad}}{\text{Capital}} 100 = \frac{700}{2600} 100 = 26.9\%$$

Paso 3: Se observa el cuadro de resultados del ejercicio, distribuyendo el monto de los egresos luego de descontar los costos de materia prima (atribuibles directamente a los productos) y calculando los *costos horarios* CH_i de los centros productivos.

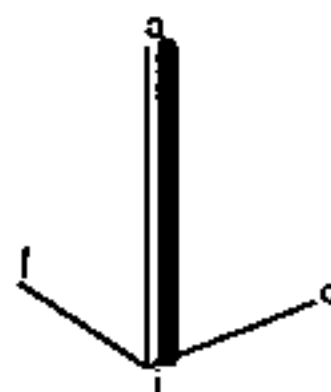
Cuadro de pérdidas y ganancias		\$
Ventas		19696
menos	Materia prima (telas)	4000
	Mano de obra (incluidos beneficios sociales)	3200
	Gastos generales del taller	2300
	Forros, cierres, hilos y botones	500
	Agujas, tizas, repuestos de máquinas	200
	Materiales de limpieza y conservación	200
	Servicios de terceros	300
	Energía eléctrica	100
	Alquiler área planta	700
	Otros	50
	Depreciación y amortización de activo no corriente	250
	Gastos de administración y ventas	8800
	Sueldos (incluidos beneficios sociales)	7000
	Materiales de oficina	200
	Asesoría y asistencias	300
	Luz, teléfonos y comunicaciones	380
	Publicidad y gastos de representación	250
	Alquiler área oficina	350
	Materiales de limpieza y conservación	200
	Depreciación y amortización de activo no corriente	70
	Otros	50
	Gastos financieros	100
	Descuento de letras e intereses	100
	Contribuciones	596
	Participación de los trabajadores en las utilidades; arbitrios municipales; contribuciones a la investigación y asociaciones gremiales; donaciones; tributos; licencias de funcionamiento; impuestos al patrimonio empresarial; impuesto a la renta	240
		356
Utilidad neta		700

En la sastrería del caso, existe un solo centro productivo, el taller (i) y un solo centro de servicios, la administración (a):

Gastos de administración y venta

Gastos financieros

Contribuciones



8800

100

596

Costos de mano de obra y gastos generales del taller

5500

Total egresos (excepto materia prima)

14996

\$

Nivel de actividad del centro productivo i

3260

HH

Costo horario de taller (costo promedio del ejercicio)

4.60

\$/HH

Paso 4: Se calcula el requisito de materia prima (lanilla de ancho 1.50 m) y se solicita cotización de proveedores (12 \$/m + 15% de impuesto a la venta).

$$1.20 \text{ m/pantalón} \times 24 \text{ pantalones} \approx 30 \text{ m}$$

$$\text{CMP}_i = 30 \text{ m} \times 12 \text{ $/m} = 360 \text{ $}$$

Si la tienda comercial que ha solicitado cotización a la sastrería, lo hubiese hecho sólo por la confección, debería entregar los 30 m. de tela, en caso de aceptación de precio de hechura.

Paso 5: Se procede a calcular el *plazo de entrega*.

La sastrería tiene una carga de trabajo ("back-log") fluctuante en torno de 100 HH Std y una eficiencia promedio $\bar{a} = 70\%$, consecuentemente el tiempo de espera del pedido (j) será de:

$$q_j = \frac{100 \text{ HH}}{0.7 \times 2 \text{ homb.} \times 7.5 \text{ horas/día}} = 10 \text{ días laborables}$$

El tiempo de corte y confección será de:

$$t_j = \frac{24 \text{ u} \times 4 \text{ HH/u}}{0.7 \times 2 \text{ homb} \times 7.5 \text{ horas/día}} = 9 \text{ días laborables}$$

Resultando el plazo de entrega:

$$q_j + t_j = (10 + 9) \text{ días lab} \times \frac{7 \text{ días calendario}}{6 \text{ días laborales}} = 22 \text{ días calendario}$$

Paso 6: Se procede a indexar el *costo horario*, observando los índices generales de precios al consumidor del 30 de junio del año precedente $IP_0 = 107$ y del 31 de mayo, considerando para esto último la validez de la oferta (30 días) y su fecha de emisión (30 de abril).

Siendo la inflación acumulada en 11 meses 11.6%, el $IP_{11} = 119.4$ la mejor apreciación del valor del costo horario será:

$$CH_n = CH_0 \frac{IP_N}{IP_0} = 4.60 \frac{119.4}{107} = 5.15 \frac{\$}{HH Std}$$

Paso 7: Se procede a establecer una *rentabilidad deseable*, observando para ello el costo de oportunidad del capital (k) y la rentabilidad obtenida en ejercicios precedentes.

La rentabilidad del capital en el último ejercicio fue 26.9%, mayor que el costo de oportunidad del capital $k = 20\%$.

La rentabilidad esperada por el propietario es $\bar{n}' = 34\%$ anual

Indexando el capital social (K):

$$K_n = K_0 \frac{IP_n}{IP_0} = 2600 \frac{119.4}{107} = \$ 2900$$

La *utilidad horaria deseable* resulta de dividir la utilidad anual por el nivel de actividad previsto (en el caso, el mismo del ejercicio anterior).

$$UH_n = \frac{0.34 \times 2900}{3260} = 0.30 \text{ \$ / HH}$$

Paso 8: Se procede a calcular el *precio*. El precio de venta será igual al valor de venta más el impuesto a la venta.

$$\begin{aligned} PV &= V V + IV = V V + 0.15 V V = 1.15 V V = \\ &= 1.15 \left\{ \sum CMP + Q_j \left[\sum Tstd_{ij} \times CH_i + UH \sum Tstd_j \right] \right\} = \\ &= 1.15 \left[24 \left(\frac{360\$}{24u} + 4 \frac{HH}{u} 5.15 \frac{\$}{HH} + 0.30 \frac{\$}{HH} 4 \frac{HH}{u} \right) \right] = \\ &= 1.15 (360 + 494.40 + 28.80) = 1.15 \times 883.20 = 1015.70 \$ \end{aligned}$$

El precio unitario p_j como suma de los costos de materia prima y mano de obra, utilidad e impuesto a la venta:

$$P_j = cmp + cmo + u' + lv = 15.00 + 20.60 + 1.20 + 5.52 = \\ = 42.32 \text{ \$/unidad}$$

Debiendo verificarse que:

- 1° p_j sea competitivo con el de otras sastrerías y talleres de confecciones ávidos de ofertar iguales bienes y servicios.
- 2° El precio del producto al usuario final no debe reducir la demanda prevista.

	Costo y beneficio (\$/u)
Sastrería	36.80
Tienda comercial	22.07
Impuestos a las ventas	8.33
	67.77

En caso contrario habrá que reajustar la utilidad unitaria esperada (u'), observándose que el margen de ajuste es muy estrecho.

Paso 9: Se procede a definir la *forma de pago*.

Se solicitará un adelanto equivalente al costo de la tela.

$$\frac{1.15 \times 360}{1015.70} = 40\%$$

Paso 10: Se confecciona la cotización. \$

30 m de lanilla de ancho 1.50 m a 12 \$/m ²	360.00
96 HH de corte y confección a 5.15 \$/HH	494.40
Utilidad de la sastrería por la hechura de 24 pantalones	28.80
Valor de venta a 36.80 \$/pantalón	883.20
+ Impuesto a la Venta (15%)	132.50
Precio de venta	1015.70

Plazo de entrega: 22 días calendarios contados a partir de la colocación de la orden de compra O/C y el pago del adelanto.

Forma de pago:

40% Adelanto para adquisición de materia prima	406.30
60% Saldo dentro de los 15 días siguientes a la recepción de la mercadería	609.40

Otra modalidad de cotización

La existencia de un solo centro productivo, en el caso visto como modelo, habría permitido aplicar un método más sencillo para presupuestar el precio de venta, método que se considera de interés para los profesionales de la ingeniería por cuanto es el mismo que emplean los grupos consultores:

Paso 1: Se definen las *tarifas horarias* (TH_h) previsibles para cada categoría y las *horas/hombre* (HH_h) necesarias. En el caso existe sólo la categoría de sastre.

Categoría	TH_h (\$/HH)	HH_h (HH)
Sastre	0.69	96
.....		
.....		

Paso 2: Se establecen los *factores de beneficios sociales* (f_B), *gastos generales* (f_G) y de *utilidades* (f_U) que se habrán de aplicar, observando el nivel de actividad y los costos incurridos en el último ejercicio.

	\$		
Labor 3260 HH Std.	2,000		
Beneficios (60%)	1,200	$f_B = 1 + \frac{1200}{2000}$	= 1.60
Gastos generales	11,796	$f_G = 1 + \frac{11796}{2000 + 1200}$	= 4.69
Utilidades	700	$f_U = 1 + \frac{700}{2000 + 1200 + 11796}$	= 1.05

Paso 3: Se definen los *gastos reembolsables* (gr). En el caso se debe reembolsar el costo de 30 m. de lanilla.

	\$
Valor de Compra i.v. (15%)	360 54
	414 \$ = 1,15 x 360

Paso 4: Se cotiza

$$\begin{aligned}
 PV &= (1 + iv) \times (\sum HH_h \times TH_h) f_B f_O f_U + gr = \\
 &= 1.15 \left(96 \text{ HH} \times 0.69 \frac{\$}{\text{HH}} \right) 1.60 \times 4.69 \times 1.05 + 1.15 \times 360 \\
 &= 1015.70
 \end{aligned}$$

Plazos de entrega, presupuestos para su reducción, aplicaciones de pert y pert-costo

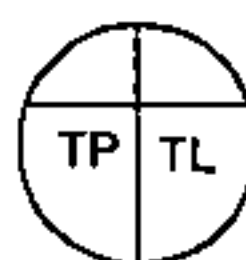
Utilización	En las fabricaciones a pedido los plazos de entrega señalados deben ser lo confiables que se exija, por prestigio del productor y por las penalidades por mora pactadas. El plazo de entrega se puede definir mediante el método probabilístico pert (Program Evaluation & Review Technique). Cuando el cliente exige la reducción del plazo, deberá tener en cuenta que la diferencia implicará un extracosto que contractualmente se podría acordar como bonificación por día ganado. El extracosto es calculable mediante pert-costo.
Teoría	Teoría de redes.
Bibliografía	THIERUF, R. <i>Introducción a la investigación de operaciones</i> . 3a. edición. México: Limusa, p. 211.
Modelo práctico	Una prestigiosa tornería tiene como política señalar plazos de entrega con probabilidad de ocurrencia de 80% a 90%. Un importante cliente requiere con urgencia, en un tiempo impuesto $t_i = 50$ días contados a partir de la fecha de pago de 50% de adelanto convencional en este tipo de actividad industrial, de un lote de pernos con tuerca corona especiales, preguntándose el fabricante si podrá satisfacer el pedido sin o con extracostos.

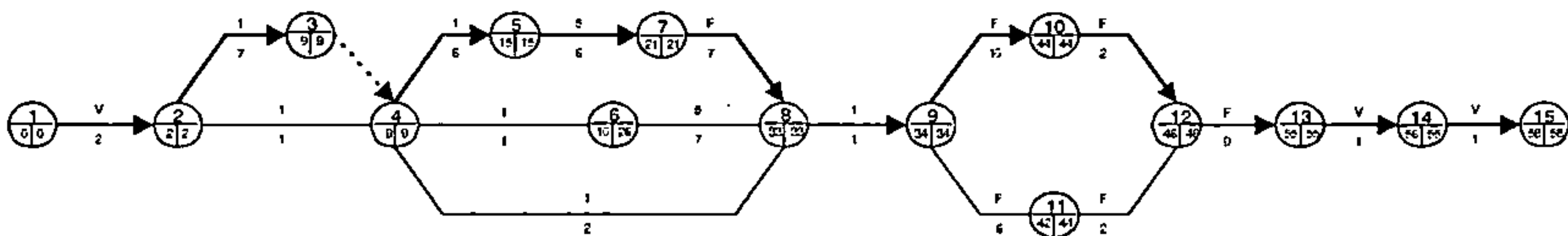
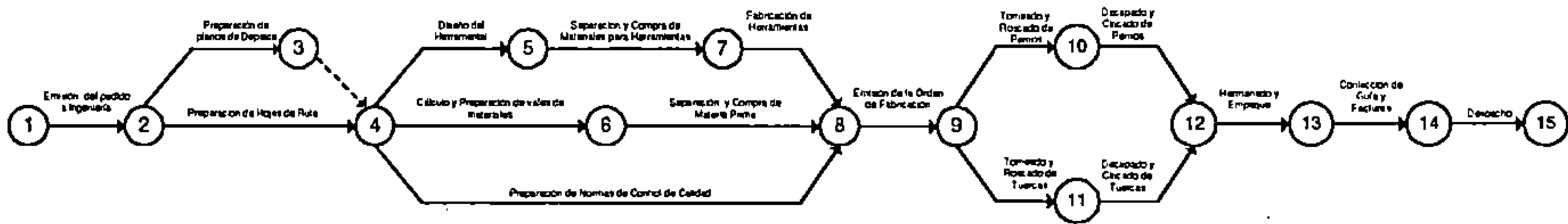
ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

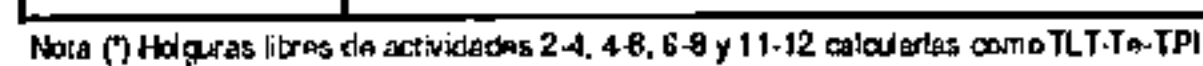
Paso 1: Se definen en forma ordenada las actividades, sus precedencias, responsables, y, tiempos optimistas (t_o), normales (t_n) y pesimistas (t_p) para su realización, calculándose el tiempo esperado o esperanza matemática $(t_e = \frac{t_o + 4 t_n + t_p}{6})$ de acuerdo con la técnica pert.

ACTIVIDADES	Precedencias	Responsable	Tiempos estimados			
			to	tn	tp	te
A. Emisión del pedido a Ingeniería		Ventas	1	1	7	2
B. Preparación de planos de despiece	A	Ingeniería	3	7	11	7
C. Preparación de hojas de ruta	A	Ingeniería	1	1	1	1
D. Diseño de herramental	B,C	Ingeniería	2	5	14	6
E. Cálculo y preparación de vales de mate.	B,C	Ingeniería	1	1	1	1
F. Preparación de normas de control de calidad.	B,C	Ingeniería	1	2	3	5
G. Separación y compra de materiales para herramientas.	D	Suministros	1	3	23	6
H. Separación y compra de materia prima	E	Suministros	1	7	13	7
I. Fabricación de herramientas.	G	Fabricación	3	10	29	12
J. Emisión de la oferta de fabricación	F,H,I	Ingeniería	1	1	1	1
K. Torneado y roscado de pernos	J	Fabricación	5	10	15	10
L. Torneado y roscado de tuercas	J	Fabricación	4	8	12	8
M. Decapado y cincado de pernos	K	Fabricación	1	2	3	2
N. Decapado y cincado de tuercas	L	Fabricación	1	2	3	2
O. Hermanado y empaque	M,N	Fabricación	4	8	18	9
P. Confección de guía y factura	O	Ventas	1	1	1	1
Q. Despacho	P	Ventas	1	2	3	2

Paso 2: Se confecciona el grafo sagital, se codifican las actividades numerando los nodos de izquierda a derecha, se calculan los tiempos próximos y lejanos señalándose el camino crítico.







camino crítico.

$$\Sigma s^2 = 47.4$$
$$S = \sqrt{\sum s^2} = 6.88 \text{ días}$$

Paso 5: Se calcula el plazo de entrega que debería señalarse (t_s) con probabilidad de cumplimiento

85% ($z = 1.04$ en la tabla de distribución de Gauss), siendo $Z = \frac{t_s - t_e}{S}$ resulta $t_s = 1.04 \times 6.88 + 58 = 65$

días, observándose que no se puede cumplir con el plazo impuesto por el cliente (t_i) sin extracostos, debiendo reducirse el t_e de 58 a 43 días si queremos: $t_i = z \times S + t_e = 50$ días.

Paso 6: Se calculan los tiempos límites (t_l), es decir los tiempos que resultan de utilizar los recursos posibles para cada una de las actividades del camino crítico (habida cuenta de las holguras de las actividades que podrían convertirse en críticas), y sus costos directos a tiempo límite, tabulándolos conjuntamente con los tiempos esperados (t_e) y sus costos directos.

Actividad	t_e (d)	Costo a tiempo esperado C_e (\$)	t_l (d)	Costo a tiempo límite C_l (\$)	Pendiente de costos directos $p = \frac{C_l - C_e}{t_e - t_l}$ (\$/ día)
1-2	2	5	0,5	5	0
2-3	7	210	3	330	30
4-5	6	300	2	500	50
5-7	6	1010	2	1170	40
7-8	12	200	4	880	85
8-9	1	5	0,5	5	0
9-10	10	190	9	235	45
10-12	2	70	1	90	20
12-13	9	42	3,5	91,5	9
13-14	1	8	0,5	8	0
14-15	2	85	1	145	60

Paso 7: Se procede a reducir los tiempos de ejecución de las actividades de la ruta crítica dando prioridad a aquellas con menor pendiente de costos directos (p) hasta alcanzar la reducción de tiempo esperado $\sum \Delta t_e$ que impone el cliente y a calcular los extracostos resultantes:

En este caso $\sum \Delta t_e = 58 - 43 = 15$ días

Orden	Actividad	p	$\Delta t_e(d)$	Reducción acumulada (d)	Extra costo ¹ (\$)
1°	1 - 2	0	1.5	1,5	0
2°	8 - 9	0	0.5	2	0
3°	13 - 14	0	0.5	2,5	0
4°	12 - 13	9	5.5	8	49.5
5°	10 - 12	20	1	9	20
6°	2 - 3	30	4	13	120
7°	5 - 7	40	2 ²	15	80

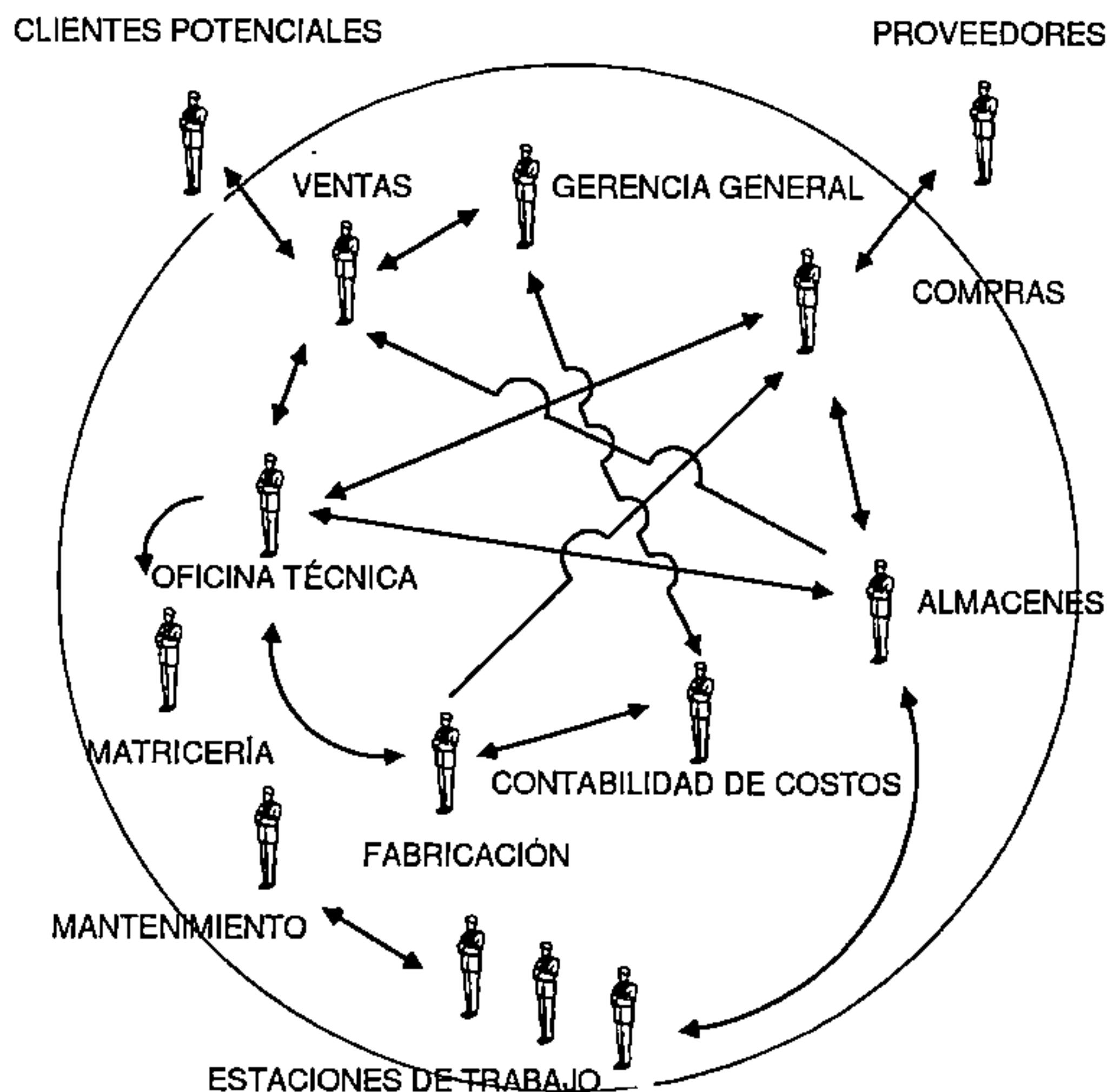
1 Los extracostos han sido calculados mediante $p \cdot \Delta t_e$

2 El t_e de la actividad 5-7 pudo haber sido reducido en 4 días pero sólo se necesitan 2 para satisfacer la imposición del cliente.

Diseño de un sistema administrativo de órdenes de trabajo

Utilización

Las actividades de una organización industrial tratando de satisfacer una demanda es especialmente compleja cuando se trata de algo nuevo.



Adosadas a la hoja de ruta, en el Archivo de Productos implementado, estarán las especificaciones técnicas (diagramas de acoplamiento, planos y normas de control).

Paso 3: Se procede a la preparación de las *órdenes de materiales* (O/M) que acompañarán a la O/T, haciendo uso de los formularios diseñados para este fin:

ORDEN DE MATERIALES					ALMACÉN		SOLICITADO POR			
CÓDIGO		DENOMINACIÓN					CANTIDAD			
RECIBIDO POR			SECCIÓN		FECHA		O/T o C/N			

El número de *copias* será el necesario.

En la O/T 0323 se confeccionaron 6 O/M:

1. 16073 cuerpos A
2. 16073 rodajes B
3. 15914 cubiertas C
4. 15914 soportes D
5. 31828 bujes E
6. 15758 ejes F

Paso 4: Se procede a la *impresión* del número de *copias* necesario, luego de registrar el número de la O/T, la cantidad pedida, las fechas de lanzamiento, iniciación tardía y conclusión programadas, y los tiempos asignados (T_{aslg}), efectuando los cálculos correspondientes.

La duplicación de las especificaciones técnicas será innecesaria toda vez que los supervisores seccionales contarán con copias.

Paso 5: Se procede a producir los bienes o servicios solicitados, respetándose en las estaciones de trabajo intervinientes las *prioridades* que señale el subsistema Covert.

Paso 6: Se introduce el *control de tareas* mediante el diseño de *tarjetas de control de tareas*, llevadas por los mismos operarios, su supervisor o por un tareador según convenga.

CONTROL DE TAREAS			CÓDIGO			
Trabajador						
Categoría						
Sección						
De Hr.	A Hr.	Tarea	Con cargo A			
.....	7,15					
7,15	8,45	Armado de Cuerpos/Rodajes	O/T 0323			
8,45	11,3					
.....						

Paso 7: Se diseña el *subsistema de seguimiento*, un *archivo de órdenes de trabajo* según su estado utilizando un casillero

1	2	3	4

1. A iniciar
2. En trabajo
3. Interrumpidas
4. Completadas

Paso 8: Se introduce el *control de entregas* mediante los *partes de producción* y las *notas de despacho o ingreso a almacenes*. Esta información es cotejada con la producción prevista (para el caso de la O/T 0323: 15,600 ruedas ABCDEF). Esta tarea la realiza *procesamiento de datos*.

Paso 9: Se hace uso del *subsistema de valorización del consumo* que permite hallar el costo incurrido en insumos de la O/T considerando las cantidades retiradas de almacenes y confrontarla con las cantidades previstas en el paso 3. La valorización del consumo debe ser hecha considerando costos indexados de los insumos puestos en almacén. Esta tarea la realiza *procesamiento de datos*.

Paso 10: Se procede al *cómputo de horas hombre* cargadas a la O/T y se la coteja con las horas hombre presupuestadas (para el caso de la O/T 0323: 595.6 HH). Esta tarea la realiza *procesamiento de datos*.

Paso 11: Se introducen los *costos horarios de fabricación* considerando las tarifas de los operarios según sección y categoría. Esta tarea la realiza *contabilidad de costos*.

Paso 12: Se procede, una vez completada la producción, al *cierre* de la O/T y a la impresión del reporte de órdenes de trabajo. Este informe es emitido por *procesamiento de datos*.

OT	Descripción	Cantidad		Fecha			Labor (HH)		Costo (\$/u)		Eficiencia (%) ²	
		Progra- mada	Pro- du- cida	De lanza- miento	Progra- mada de conclus.	Efecti- va de conclus.	Pre- vista	Emplea- da	Presu- pues- tado	Real	M. de obra.	M.P.
.....												
.....												
323	Rueda ABCDEF	15600	15493 ¹	28.06	15.07	21.07	595.6	593.2	11.15	11.32	99.7	99.1

- 1 Las O/T se cierran cuando se agota alguno de los insumos. Los saldos de los otros insumos son devueltos al almacén. La nota de ingreso (N/I) es remitida a procesamiento de datos. Otro método empleado cuando se debe cumplir con la cantidad solicitada en la O/T es confeccionar una O/M para retirar del almacén la cantidad adicional requerida del material faltante.
- 2 La eficiencia de la mano de obra ha sido obtenida dividiendo los tiempos unitarios std. y real (0.03818/0.03829). La eficiencia de la materia prima dividiendo consumos unitarios valorados con iguales precios reales y presupuestados.

CAPÍTULO III

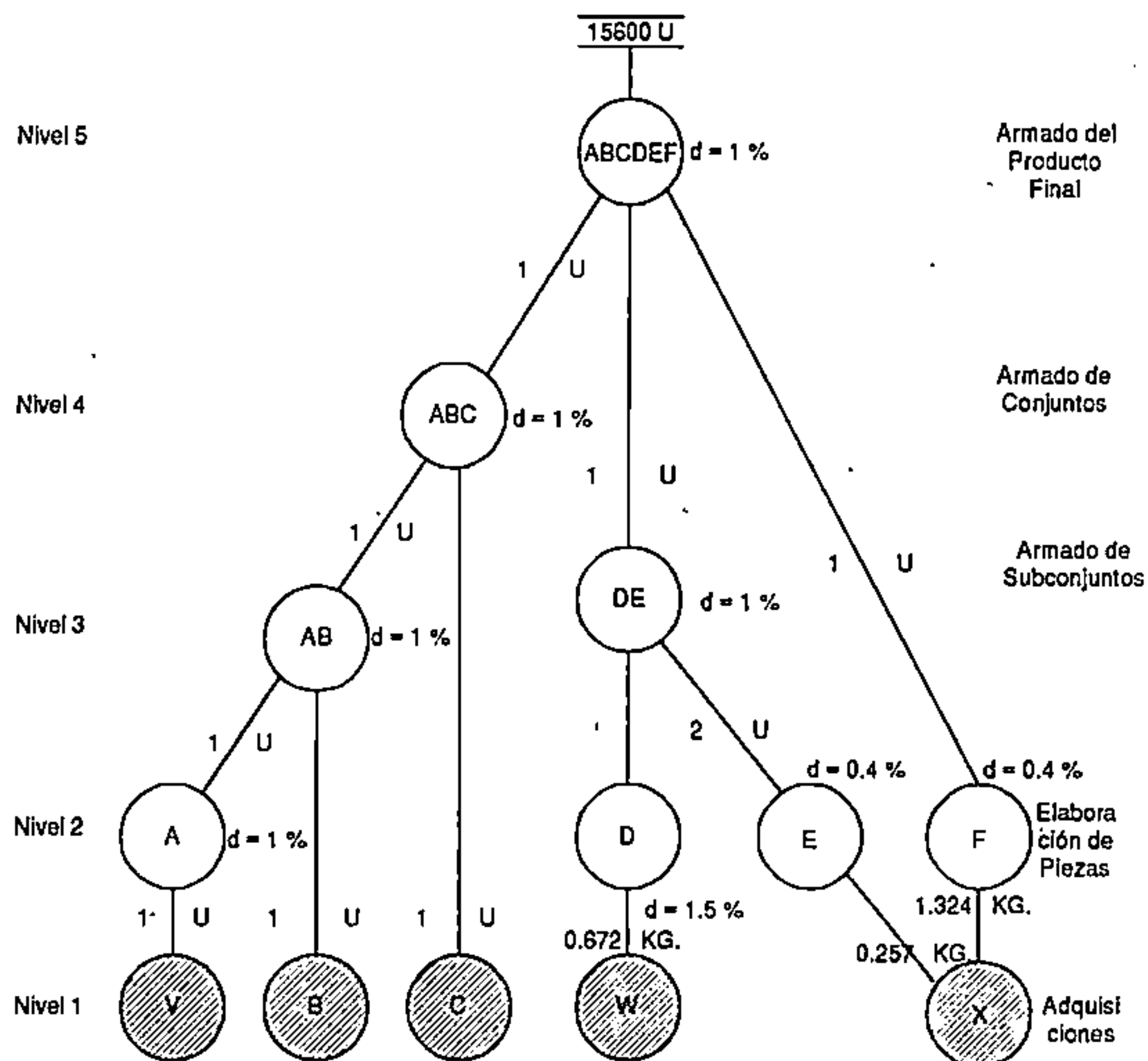
LOGÍSTICA

Preparación de pedidos de suministro en productos complejos, matriz insumo-producto de Gozinto

Utilización	Despieces y diagramas de acoplamiento de productos complejos son utilizados en los lugares de ventas de repuestos, al permitir la rápida identificación, a veces en la pantalla de un proyector de microfilms, de la parte buscada y su código, ya se trate de una pieza, subconjunto o conjunto, para efectos de consultar su precio y localización en el almacén. En el planeamiento de la producción los diagramas de acoplamiento presentados como grafos o matrices facilitan la preparación de los pedidos de suministros P/S (vales de materiales V/M, órdenes de compra O/C y órdenes de trabajo O/T).
Teoría	Teoría de redes. Grafo de Zeparzat Gozinto.
Bibliografía	MUNIER, N. <i>Técnicas modernas para el planeamiento y control de producción</i> . Buenos Aires: Astrea, 1973, p. 148.
Modelo práctico	En el programa de producción del mes de abril, de una empresa industrial dedicada a la producción en serie de la variedad de ruedas y garruchas incluidas en su catálogo de productos, se ha considerado la elaboración y montaje de 15,600 unidades de la rueda ABCDEF como resultado del análisis del programa de ventas y stock existente. Se pide confeccionar V/M y O/T para el lanzamiento de su producción.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Con ayuda del diagrama de acoplamiento, los planos y hojas de ruta de los componentes del producto se confecciona el grafo de Gozinto (se dice que el producto más complejo puede ser presentado en cinco niveles):



Al costado de cada nodo se indica el porcentaje esperado de defectuosas en el proceso de elaboración y montaje de cada componente.

En el despiece y en el diagrama de acoplamiento pueden observarse las partes:

Despiece (Explosión)

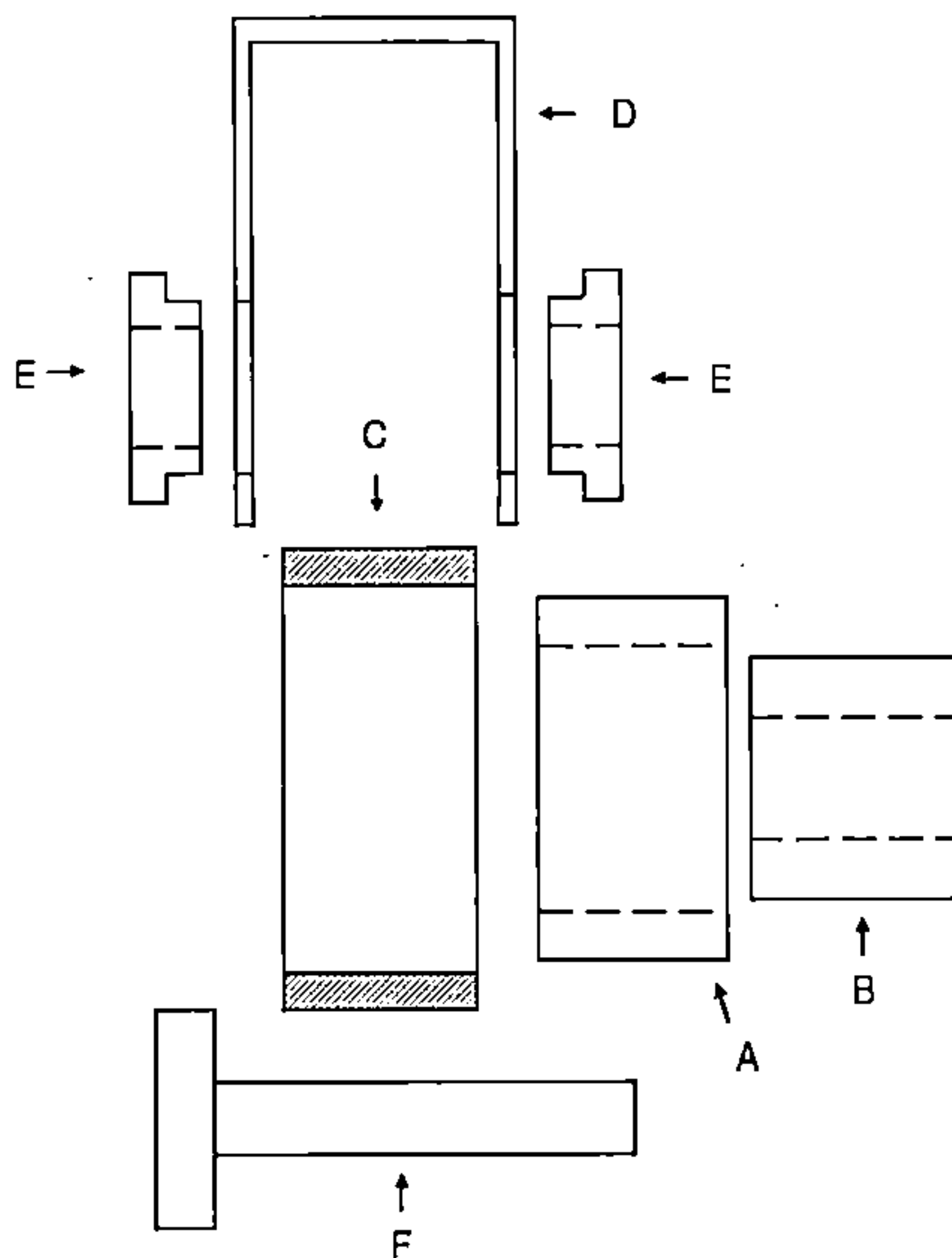
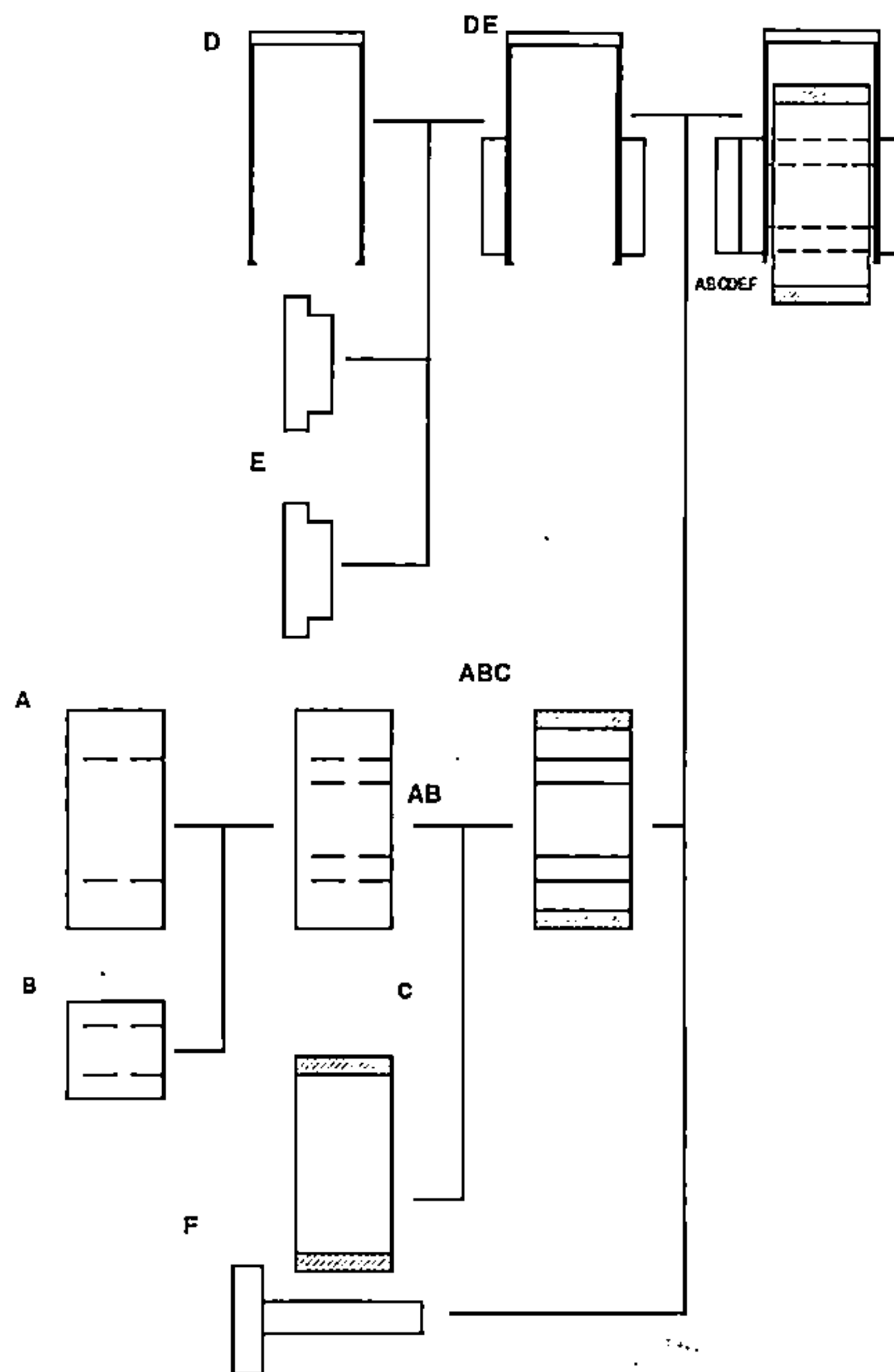


DIAGRAMA DE ACOPLAMIENTO



Donde son elementos de la lista de materiales BOM (Bill of Materials):

Adquisiciones

1 Cuerpo de fundición gris V
 1 Rodaje B
 1 Cubierta de caucho sintético C
 0.672 kg. plancha de hierro SAE 1040 de 4' x 8' x N° 12 W
 1.581 kg. Barra de hierro SAE 1020 de 8' x 0 1 1/2" X

Elaboraciones

1 Cuerpo maquinado A (rectificado interior y exterior)
 1 Soporte D (corte, matrizado y estampado)
 2 Bujes E
 1 Eje F

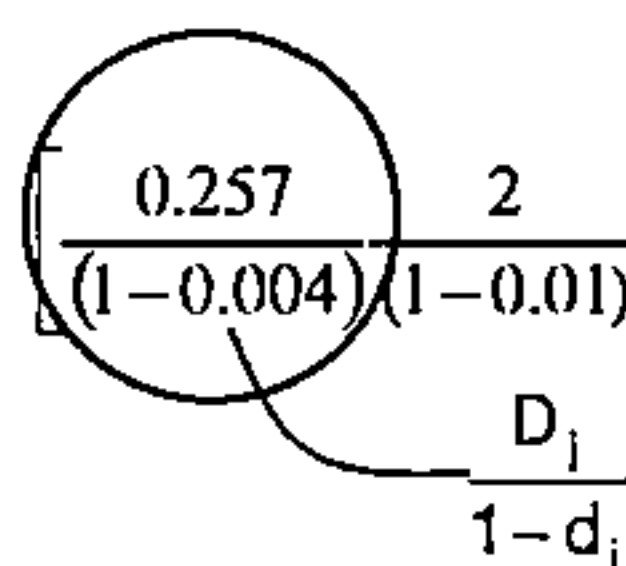
Montajes

1 Subconjunto AB
 1 Subconjunto DE
 1 Conjunto ABC
 1 Rueda ABCDEF

El número de nodos nos indica la cantidad de P/S = 13, de los cuales V/M u O/C=5 (Nivel 1) y O/T = 8.

Paso 2: Las cantidades a solicitar en cada V/M se obtienen recorriendo el grafo de Gozinto desde el nivel 1 hasta el nivel 5 por todos los caminos que parten de un nodo, así por ejemplo para X en el vale de materiales se solicitarán:

$$\left[\frac{0.257}{(1-0.004)} \frac{2}{(1-0.01)} \frac{1}{(1-0.01)} + \frac{1.324}{(1-0.004)} \frac{1}{(1-0.01)} \right] 15600 = 29161 \text{kg.}$$



$$\frac{D_j}{1-d_j}$$

Paso 3: Cuando la complejidad del producto lo justifica se confecciona una matriz insumo-producto, donde en cada casillero se indica el correspondiente

$$\frac{D_j}{1-d_j}$$

PRODUCTOS INSUMOS	A	D	E	F	AB	DE	ABC	ABCDEF
Y	1.010							
W		0.682 kg.						
X			0.258 kg.	1.329 kg.				
A					1.010			
B					1.010			
C							1.010	
D						1.010		
E						2.020		
F								1.010
AB							1.010	
DE								1.010
ABC								1.010

El método matricial puede permitir el diseño de un sistema experto para la elaboración de los P/S (V/M y O/T). Se ingresa a la matriz por un insumo y se la recorre en el sentido antihorario barriendo en el viaje todas las celdas de su línea que contengan un requisito hasta alcanzar la última salida en el producto final multiplicando entonces todo por la cantidad pedida.

Para el V/M correspondiente a X, el recorrido es:

$X \rightarrow 0.258\text{Kg.} \uparrow E \rightarrow E * 2.02D \uparrow DE \rightarrow *1.010 \uparrow ABCDEF \rightarrow X \rightarrow +1.329\text{kg.} \uparrow F \rightarrow F \rightarrow *1.010 \uparrow ABCDEF *15600$

Resultan los siguientes vales de materiales:

V/M 1 16240 cuerpos de fundición gris V

V/M 2 10859 kg. de planchas de fierro SAE 1040 de 4'x8' x N° 12 W

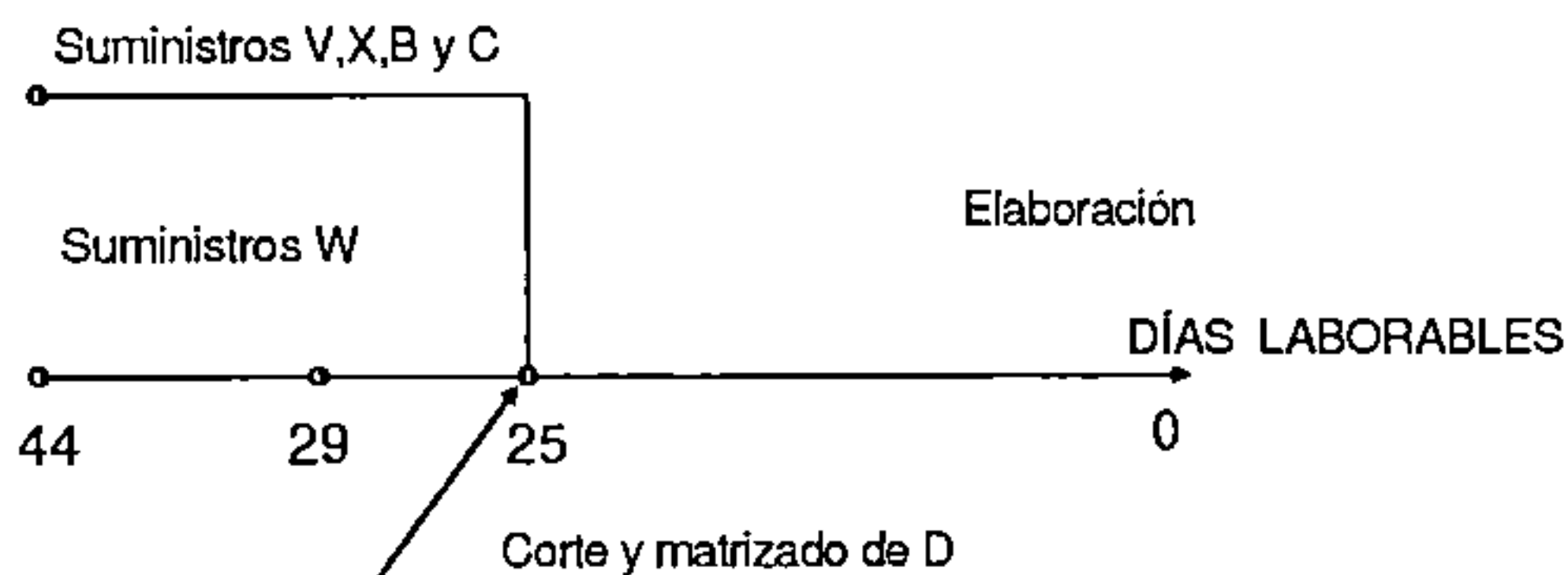
V/M 3 29161 kg. de barra de fierro SAE 1020 de 8' x 0 1 1/2" X

V/M 4 16078 rodajes de B

V/M 5 15917 cubiertas de caucho sintético C

Se observa la importancia de considerar porcentajes de defectuosas para satisfacer un pedido con la cantidad solicitada.

Paso 4 : Pueden confeccionarse también las O/T correspondientes al maquinado de A, la elaboración de D, E, y F, los montajes de los subconjuntos AB y DE, del conjunto ABC y del producto final la rueda ABCDEF, utilizando para ello además de la matriz y las correspondientes hojas de ruta, el siguiente diagrama de ordenamiento para señalar fechas:



El *tiempo asignado* para la ejecución de una operación considera tiempo de preparación de máquina y porcentaje de defectuosas previsto en la "ruta" restante del proceso de producción de la serie de la rueda ABCDEF pedidas.

Así, en el ejemplo en la O/T 12-004 para la producción de 15,600 ruedas, para el Cuerpo A, la operación 1 de rectificado interior del cuerpo de fundición gris V prevé:

$$0.5 + \frac{15 \text{ seg.maq. /unidad}}{3600 \text{ seg.ma q./hr.maq.}} \frac{1}{1 - 0.005 - 0.005} 1.01 \times 1.01 \times 1.01 \times 15600 = 68.1 \text{ HM}$$

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Cuerpo maquinado A (1)				Fecha tardía de iniciación 1.04				
Con cargo a 12 - 004 - A				Fecha programada de conclusión 29.04				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utillaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Rectificado interior	MON	RECT-INT	--	1/2	15	5	68.1
2	Rectificado exterior	MON	RECT-INT	--	1/2	15	5	68.1

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Soporte D (1)				Fecha tardía de iniciación 28.03				
Con cargo a 12 - 004 - D				Fecha programada de conclusión 7.04				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utillaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Corte de tiras	ELA	GUI-240	--	1/2	1	3	5.0
2	Matrizado	ELA	PRE-35T	MAT-01	1/2	5	6	22.9
3	Estampado	ELA	PRE-35T	MAT-02	1/2	10	6	45.0

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Bujes E (2)				Fecha tardía de iniciación 1.04				
Con cargo a 12 - 004 - E				Fecha programada de conclusión 25.04				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utilaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Torneado (tres turnos)	ELA	TOR-RE1	--	1/2	50	4	444.3

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Eje F (1)				Fecha tardía de iniciación				
Con cargo a 12 - 004 - F				Fecha programada de conclusión				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utilaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Torneado (tres turnos)	ELA	TOR-RE2	--	1/2	120	4	527.8

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Subconjunto AB				Fecha tardía de iniciación				
Con cargo a 12 - 004 - AB				Fecha programada de conclusión				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utilaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Armado	MON	BAN	PMA-01	--	10	10	44.7

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Subconjunto DE				Fecha tardía de iniciación 1.04				
Con cargo a 12 - 004 - DE				Fecha programada de conclusión 29.06				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utilaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Soldar bujes	MON	SOL-EL1	SOP-01	1/2	44	10	194.5

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento 1.03				
Pieza Rueda ABC				Fecha tardía de iniciación 1.04				
Con cargo a 12 - 004 - ABC				Fecha programada de conclusión 29.04				
OP	Denominación	Sección	Estación	Utilaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg.Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Armado	MON	VUL-01	PMA-01	1/2	40	10	177.3

O/T 12-004 15600 ABCDEF				Fecha de lanzamiento		1.03		
Pieza Rueda ABCDEF				Fecha tardía de iniciación		1.04		
Con cargo a 12 - 004 - ABCDEF				Fecha programada de conclusión		29.04		
OP	Denominación	Sección	Estación	Utilaje	Tpm (HM)	Tstd (Seg. Maq./u)	dj 0/00	Tasig (HH)
1	Armado	MON	BAN	SOP-02	--	13	1	56.9
2	Soldado punta F	MON	SOL-EL2	SOP-03	--	22	1	96.2
3	Decapado/Fosfatado	TRA	CUBAS	--	1	16	5	70.9
4	Ajuste-Control	MON	BAN	CAL-ES	1/2	30	2	130.9
5	Empaque	MON	BAN		--	15	1	65.1

El grafo de Gozinto del paso 1 y el diagrama de ordenamiento del paso 4 han servido de base para el desarrollo de los *softwares* Plan de Requerimientos de Materiales MRP (Material Requirements Planning), Plan de Requerimientos de Capacidades CRP (Capacity Requirements Planning) y Planificación de los Recursos de Fabricación MRP II (Manufacturing Resources Planning), para la confección de los diagramas de estructura de los productos y el cálculo de los tiempos de espera.

Los sistemas de simulación de los Programas Maestros de Producción MPS (Master Production Schedule), conjuntamente con el MRP y el MRP II (de Oliver Wight) que permiten planificar y controlar O/C y O/T, para el conjunto de productos que ofrecen a sus clientes, como lo son por ejemplo las fábricas de equipos de audio y video, sólo son aplicables con las computadoras, y por ello han sido desarrollados entre 1975 y 1985, permitiendo cuantiosos ahorros a las empresas industriales que los emplean al eliminar radicalmente los stocks de ítems de demanda dependiente (conjuntos, subconjuntos, piezas y materias primas).

Gestión de stocks, kárdex, costo de pedido, posesión y agotamiento, cantidad y periodicidad de reposición, stock de protección

Utilización

Teniendo en cuenta las distintas clasificaciones bajo las cuales puede ser considerado cada artículo de la gran diversidad cuya gestión de stocks debe ser realizada por logística, desde insumos de productos y procesos, repuestos y herramientas, hasta formularios, útiles de escritorio y medicamentos, por familia, procedencia, consumo valorado, rotación, lote económico, tiempo de reaprovisionamiento, costo de agotamiento y sistemas de reposición, se ve que los sistemas expertos observables en el mercado como *software* de aplicación para realizar dicha gestión no cumplen con el objetivo de definición y selección.

La mayoría de ellos no va más allá la clasificación ABC de V. Pareto.

Para poder efectuar una correcta clasificación y decidir cuál de ellas gobernará la gestión de cada ítem, es importante contar con un kárdex de registro bien diseñado y calcular correctamente costos de pedido y posesión, cantidad y periodicidad de aprovisionamiento y stock de protección.

Teoría

Investigación operativa. Gestión de stocks.

Bibliografía

ALFORD & BANGS, L. *Manual de producción*. México: Uteha, 1965, p. 438.
RAMBAUX, A. *Gestión económica de stocks*. 4a. edición. Barcelona: Hispano Europea, 1978, p. 195.
YOUNG OLIVIER, J.C. *Política de adquisiciones y gestión de stocks*. Buenos Aires: El Ateneo, 1972, p. 12.

Modelo práctico

Una planta concentradora de mineral de cobre, con una capacidad de procesamiento de 8,000 ton/día; consume entre otros artículos, "forros" para sus molinos.

El costo puesto en el almacén de la planta es $b=4.35$ \$/kgr.

El consumo medio es de 480 kgr/día, su desvío estándar : 45 kgr/día

El tiempo de reaprovisionamiento medio es de 14 días, su desvío std. 1.85 d.

Se desea calcular:

- Costo de pedido (K)
- Costo de posesión (C_{pose})
- Periodicidad de aprovisionamiento (p)
- Costo de agotamiento (C_{agot})
- Stock de protección (q_s).

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Revisión de la información almacenada en el kárdex administrativo. El kárdex de logística es el siguiente:

El kárdex permite determinar consumos medios y tiempos de reaprovisionamiento máximos y mínimos.

Paso 2: Cálculo del costo de pedido (K)

Se calcula considerando los gastos anuales incurridos en la gestión de stocks por los centros de costos involucrados, dividiéndolos por el número de pedidos habidos durante el período.

Los centros de costos intervinientes han sido:

- Jefatura de logística
- Control de existencias
- Compras locales
- Compras al exterior
- Importaciones
- Seguimiento de compras

Los gastos incurridos distribuidos según los recursos desplegados en la gestión de artículos locales e importados han sido:

Artículos	Locales	Importados
\$	20,230	12,625
Nº de pedidos	1,190	101
Costos de un pedido	$k_1 = 17 \$$	$k_1 = 125 \$$

Siendo los forros para molinos de procedencia local $k = 17 \$$

Paso 3: Cálculo de costos de posesión (C_{pose})

Costo de posesión (C_{pose}) = Costo de almacenaje (C_{alma}) + Costo de obsolescencia (C_{obso}).

El costo de almacenaje $C_{alma} = b.P$, donde b (\$/U) es el costo actualizado del artículo y P la tasa de posesión de Parrish, prácticamente, y en términos reales de costo de capital, una constante:

$$P = \frac{\text{(gastos de administración y mantenimiento del almacén + depreciación de edificio y equipo + seguros + costo de capital inmovilizado como inventario)}}{\text{inventario}} = 25\% \text{ anual.}$$

El costo de obsolescencia generalmente cero, es una característica peculiar de cada artículo.

Para los forros:

$$C_{pose} = 4.35 \frac{\$}{\text{kg}} \times \frac{25\% \text{ anual}}{365 \text{ días/año}} = 0.003 \frac{\$}{\text{kg.día}}$$

Paso 4: Cálculo de cantidad a reponer (R) y periodicidad de aprovisionamiento (p)

Para la reposición de stocks existen dos metodologías:

- R = constante
- p = constante

La primera es utilizable para artículos cuyo consumo anual proyectado es altamente confiable y cuya reposición se puede efectuar individualmente.

La segunda es preferible cuando en logística se puede contar con personal o asesoría competente para confeccionar un calendario de reaprovisionamiento.

Mediante la fórmula de Camps se observa que la cantidad económica a reponer sería de:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2k\bar{c}}{C_{pose}}} = \sqrt{\frac{2 \times 17 \times 480}{0.003}} = 2300 \text{ kg.}$$

y la periodicidad económica:

$$p_e = \frac{EOQ}{\bar{c}} \approx 5 \text{ días}$$

Los valores recomendados por las fórmulas de Camps son generalmente desechados por la administración logística cuando:

- El tiempo de reaprovisionamiento $\overline{TR}$ = plazo de tramitación $\overline{PT}$ + plazo de entrega del proveedor $\overline{PE}$, resulta mayor que P_e .
- El artículo ha sido agrupado con otros de distintas p_e para su adquisición en bloque por clase.
- La periodicidad ha sido establecida por el sistema ABC de Vilfredo Pareto, considerando el consumo anual valorado de los artículos.

En el caso de los "forros"

p = mensual

Paso 5: Cálculo del costo de agotamiento (C_{agot})

La planta ha estado paralizada durante un día por falta de "forros" para sus molinos.

La pérdida de producción ha sido de 390 ton. de concentrado con 33% de Cu, valorado en \$150,000 cuyo costo de producción es de \$42,000.

El costo de agotamiento (lucro cesante) puede calcularse mediante el siguiente razonamiento teórico:

como las reservas del yacimiento permiten suponer 15 años de explotación, recién al agotarse éste (por cuanto mina y concentradora trabajan a plena capacidad 24 horas diarias) se podrá completar el procesamiento de las 8,000 ton. en cancha, requiriéndose entonces extracostos de \$18,000 para su molienda, flotación, filtrado y transporte.

El flujo de caja será el siguiente:

Año (j)	FC_j
0	-42,000
15	-18,000 + 150,000

y el beneficio utilizando como tasa de descuento (i) el costo del dinero en términos reales $Kr = 6\%$:

$$VAN (i = 6\%) = FC_0(1+i)^{-0} + FC_{15}(1+i)^{-15} = -42000 + \frac{132000}{2.4} = 13000$$

El lucro cesante es entonces de $(150,000 - 42,000) - 13,000 = 95,000$ \$/día y, siendo el stock-out de 1 día y el consumo de 480 kg.

$$C_{agot} = 197.917\$ / \text{kgdía}$$

El alto costo de agotamiento hace clasificar el artículo como "crítico".

Paso 6: Cálculo de stock de protección (q_s)

Puede determinarse como $q_s = f(C_{agot}, C_{pose})$

Se ha observado que el consumo promedio de "forros" donde $TR + p$ ha sido de 21,300 kg. con desviación estándar de 2,100 kg.

Se incurre en extracostos al producirse el stock-out, toda vez que debe ordenarse un lote del artículo en forma extemporánea y en condiciones de *emergencia*, para lograr que el tiempo de reaprovi-

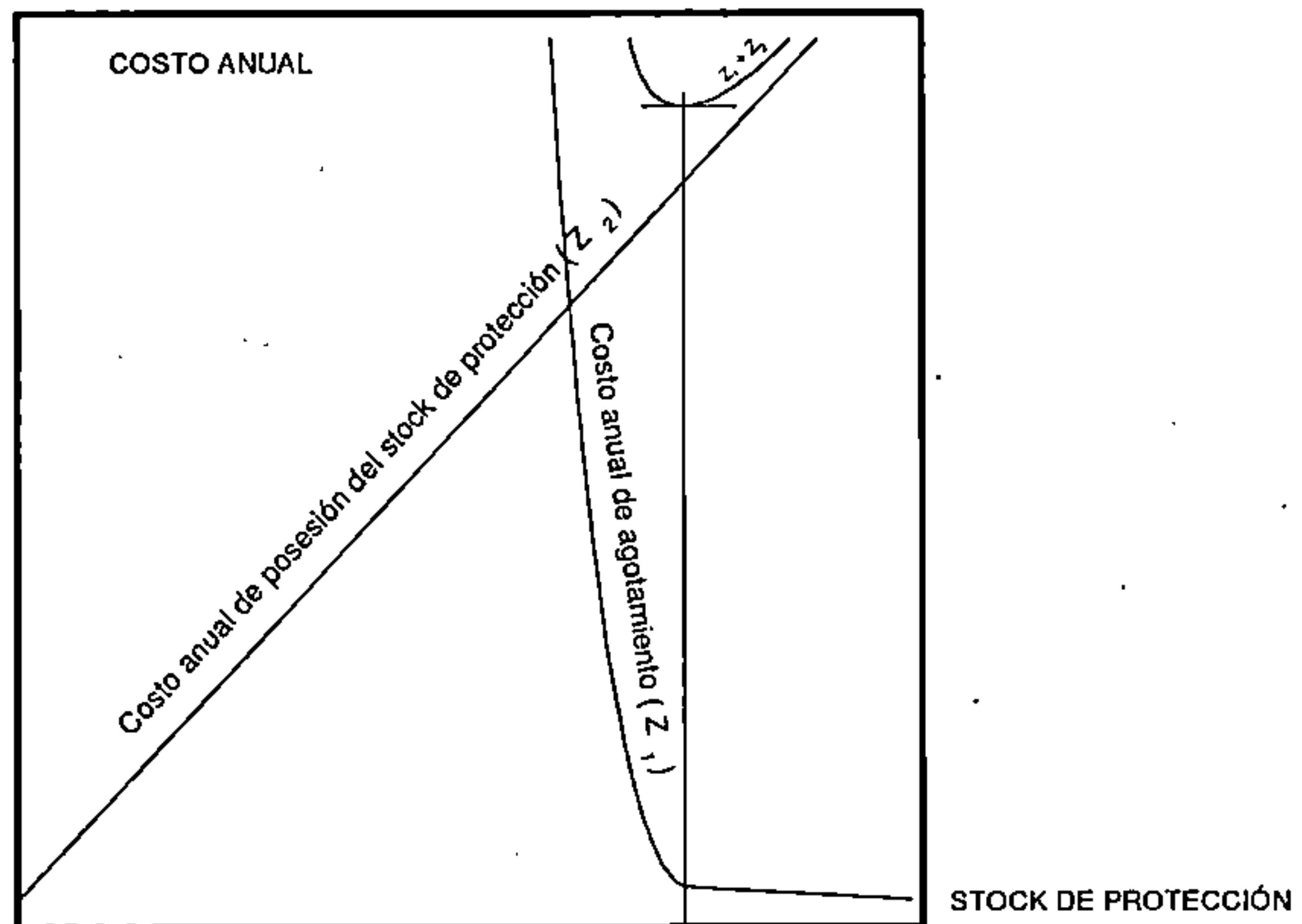
sionamiento normal $\overline{TR} = 14$ días se reduzca a $TR_{\min} = 2$ días, comprando con sobreprecio, utilizando medios de transporte excepcionales, etc. El extracosto fue estimado en este caso como:

$$K + \Delta K = 17 + 2983 = 3000\$$$

$$C_{\text{agot}} = 95000 \frac{\$}{\text{día}} \times 2 \text{ días} + 3000 \$ = 193000 \$$$

El costo anual incurrido por agotamiento :

$$Z_1 = 12 \frac{\text{pedidos}}{\text{año}} \times 193000 \frac{\$}{\text{pedido}} [1 - F(z)] = 2316000 [1 - F(z)]$$



Siendo el:

$$C_{\text{pose}} = 4.35 \frac{\$}{\text{kg.}} \times 0.25 \frac{1}{\text{año}} = 1.09 \frac{\$}{\text{kg. año}}$$

El costo anual de posesión del stock de protección q_s :

$$Z_2 = 1.09 q_s$$

Ordenando posibles consumos C_{TR+p} en forma decreciente, comenzando con el correspondiente al valor de la variable reducida de la distribución normal, $z = 3.716$ (correspondiente a la probabilidad $F(z) = 0.0001$), se calcula $Z_1 + Z_2$ hasta obtener el menor costo:

C_{TR+p}	q_s (Kg)	$Z = \frac{q_s}{S_c}$	$1 - F(z)$	Z_1 (\$/año)	Z_2 (\$/año)	$Z_1 + Z_2$
29,100	7,800	3,716	0.0001	232.-	8,502.-	8,734.-
28,700	7,400	3,524	0.0002	463.-	8,066.-	8,529.-
28,300	7,000	3,333	0.0004	926.-	7,630.-	8,556.-
27,900	6,600	3,143	0.0008	1853.-	7,194.-	9,047.-
27,500	6,200	2,952	0.0016			
27,100	5,800	2,762				

Consecuentemente:

$$q_s = 7400 \text{ kg.}$$

Debido a las dificultades de obtención y al costo de cálculo de C_{agot} , TR_{min} y ΔK de cada uno de los items se recurre a un *método simplificado*, calculándose como $q_s = f(s_c)$.

Se define para ello una política de gestión de stocks, con niveles de servicio, por ejemplo de 99.98% para artículos críticos como los forros y 94.52% para no críticos, permitiendo para ello un predeterminado stock-out:

Artículos	Clase	Stock-out permitido	Nivel de servicio	z^*
Críticos	CC	$t_{so} < 1 \text{ día c/ 15 años}$	99,98%	3.49
No críticos	NC	$t_{so} < 5 \text{ días / trimestre}$	94,52%	1.60

-
- * De la tabla de la distribución normal con $F(z)$ igual a 0.9998 y 0.9452
Y calculando $q_s = z \cdot s_c$
Para el caso de los forros resulta $q_s = 3.49 \times 2100 = 7300 \text{ kg.}$

Calendario de reaprovisionamiento

Utilización	La administración logística mediante la revisión, según un calendario predeterminado, de las existencias por grupos de artículos, garantiza una mayor eficiencia en la gestión de compras, fundamentalmente en lo que se refiere al costo anual incurrido en las adquisiciones, racionalizándose las actividades de los compradores y distribuyéndose la gestión por especialidad, satisfaciéndose simultáneamente las expectativas de planeamiento financiero.
Teoría	Gestión de stocks.
Bibliografía	RAMBAUX, A. <i>Gestión económica de stocks</i> . 4a. edición. Barcelona: Hispano Europea, 1978, p. 203.
Modelo práctico	La división logística de una empresa minera, con operaciones de extracción a tajo abierto y concentración por flotación, desea mejorar la gestión de compras mediante la introducción de un calendario de reaprovisionamiento en la administración de cerca de 9,000 ítems.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Clasificación por familias de los bienes.

Agrupamiento familiar	
01	Repuestos para tractores, palas y volquetes de mina
02	Repuestos para vehículos de servicio
03	Repuestos para compresoras y perforadoras
04	Repuestos para chancadores, molinos y clasificadores
05	Repuestos para bombas, agitadores y filtros
06	Repuestos para generadores electrógenos
07	Otros repuestos
08	Materiales para perforación y voladura
09	Materiales para molinos
10	Productos químicos
11	Tuberías, mangueras y válvulas
12	Materiales de iluminación
13	Materiales para instalaciones eléctricas
14	Materiales para soldadura
15	Lubricantes y combustibles
16	Vestimenta y equipo de seguridad
17	Herramientas
18	Materiales de ferretería diversos
19	Materiales de construcción
20	Llantas y cámaras
21	Formularios
22	Útiles de escritorio y dibujo
23	Materiales para oficina
24	Materiales de laboratorio
25	Materiales de aseo y limpieza
26	Productos farmacéuticos y víveres
27	Otros suministros

Paso 2: Periodicidad de aprovisionamiento y conformación de bloques. Se establecen las periodicidades deseables por la empresa:

- Mensual
- Trimestral
- Semestral
- Anual

Para la conformación de bloques de reposición mensual, trimestral, semestral y anual, prima alguna de las siguientes consideraciones:

- a. Periodicidad económica pe
- b. Tiempo de reaprovisionamiento $\overline{TR}$
- c. Clasificaciones de Pareto (ABC y 123)
- d. Complejidad logística

Para el agrupamiento, además, existen los siguientes criterios:

- Artículos incluidos en un agrupamiento familiar, que corresponde a un conjunto de proveedores dedicados a su comercialización, pueden servir para conformar hasta cuatro bloques por periodicidad.
- En general, artículos que se han incluido en el pasado en una misma O/C se agrupan en un mismo bloque.
- Repuestos para máquinas de una determinada marca se agrupan para la emisión de una O/C y consecuentemente serán ítems de un mismo bloque.
- Artículos que se adquieren mediante O/C individuales, aun perteneciendo a familias disímiles, pueden agruparse en un bloque considerando exclusivamente la periodicidad y la capacidad de gestión semanal de un comprador.
- Otro criterio para conformar bloques es la procedencia de otra localidad, región o país (artículos importados).

En este caso se tuvo básicamente en cuenta la ley de V. Pareto, efectuándose una clasificación ABCD con cortes de 50, 75, 90 y 100% del consumo anual valorado (1'500,000 \$/año):

Artículos	Clase	c.a.v. (\$ año)	c.a.v. acumulado
8	A	750,000	750,000 (50.%)
85	B	375,000	1'125,000 (75 %)
1307	C	225,000	1'350,000 (90 %)
7551	D	150,000	1'500,000 (100 %)
<u>8951</u>			

Se conformaron 118 bloques:

Nº de bloque	Periodicidad	Nº de Artículos	O/C por bloques	O/C por año
2	Mensual	8	3	72
8	Trimestral	85	4	128
12	Semestral	1307	6	144
<u>96</u>	Anual	<u>7551</u>	6	<u>576</u>
118		8951		920

Así, por ejemplo, un bloque fue el siguiente:

Artículos	Denominación	b(\$/u)	D(u/año)	Clase
200101929*	Llanta s/c convencional 560x15	5	100	D
200207314	Llanta s/c radial 175/14 R12	50	40	D
203208721	Llanta s/c radial 185/70 R14	55	60	D
c.a.v. 9700 \$/ año				

Paso 3: Requisito de personal, considerando un estándar de 5 O/C por comprador y por semana y el número de O/C que se prevé colocar anualmente.

$$N = 920 \frac{\text{O/C}}{\text{año}} \frac{1}{11 \text{ meses / año}} \frac{1}{4 \text{ semanas / mes}} \frac{1}{5 \text{ O/C/comp.semana}} = 4 \text{ compradores}$$

Paso 4: Confección del calendario de reaprovisionamiento, con una simultánea codificación de bloques, habida cuenta de:

1. Las instrucciones de la Gerencia de Finanzas que requiere salidas de caja uniformes con desahogos en los meses de julio y diciembre por compromisos de pago de gratificaciones al personal de la empresa.
2. Una asignación racional por comprador y por semana (con vacaciones en julio y diciembre).

* Codificación

20	01	01929

 20 - Llantas y cámaras (grupo familiar)
 01 - Llantas sin cámara convencionales (subgrupo)
 01929 - Codificación correlativa del ítem

BLOQUES DEL CALENDARIO ANUAL DE REAPROVISIONAMIENTO												
Mes Semana	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	008 039 079	010 040 080	011 041 081	009 042 082	010 043 083	012 044 084	009	010 045 085	011 046 086	009 047 087	010 048 088	012
2	002 013 049 089	002 014 050 090	002 015 051 091	002 016 052 092	002 017 053 093	002 018 054 094	002 013	002 014 055 095	002 015 056 096	002 016 057 097	002 017 058 098	002 018
3	003 019 059 099	004 020 060 100	005 021 061 101	003 022 062 102	004 023 063 103	005 024 064 104	003 019	004 020 065 105	005 021 066 106	003 022 067 107	004 025 068 108	005 026
4	006 027 069 109	007 028 070 110	008 029 071 111	006 030 072 112	007 031 073 113	008 032 074 114	006 033	007 034 075 115	008 035 076 116	006 036 077 117	007 037 078 118	008 038
% del c.a.v.	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	4.0	9.2	9.2	9.2	9.2	4.0

Paso 5: Preparación de los pedidos de suministro P/S.

En la semana correspondiente se efectúa la revisión de los saldos de cada artículo y se procede a preparar el P/S del almacén a compras.

$$R = QS + \bar{c}(\overline{TR} + p) - (SA + SP)$$

Siendo:

R = Cantidad a reponer (u)

QS = Stock de protección (u)

$\bar{c}$ = Consumo diario promedio (u/d)

p = Periodicidad (d)

$\overline{TR}$ = $\overline{PT} + \overline{PE}$ = Tiempo de reaprovisionamiento medio (d)

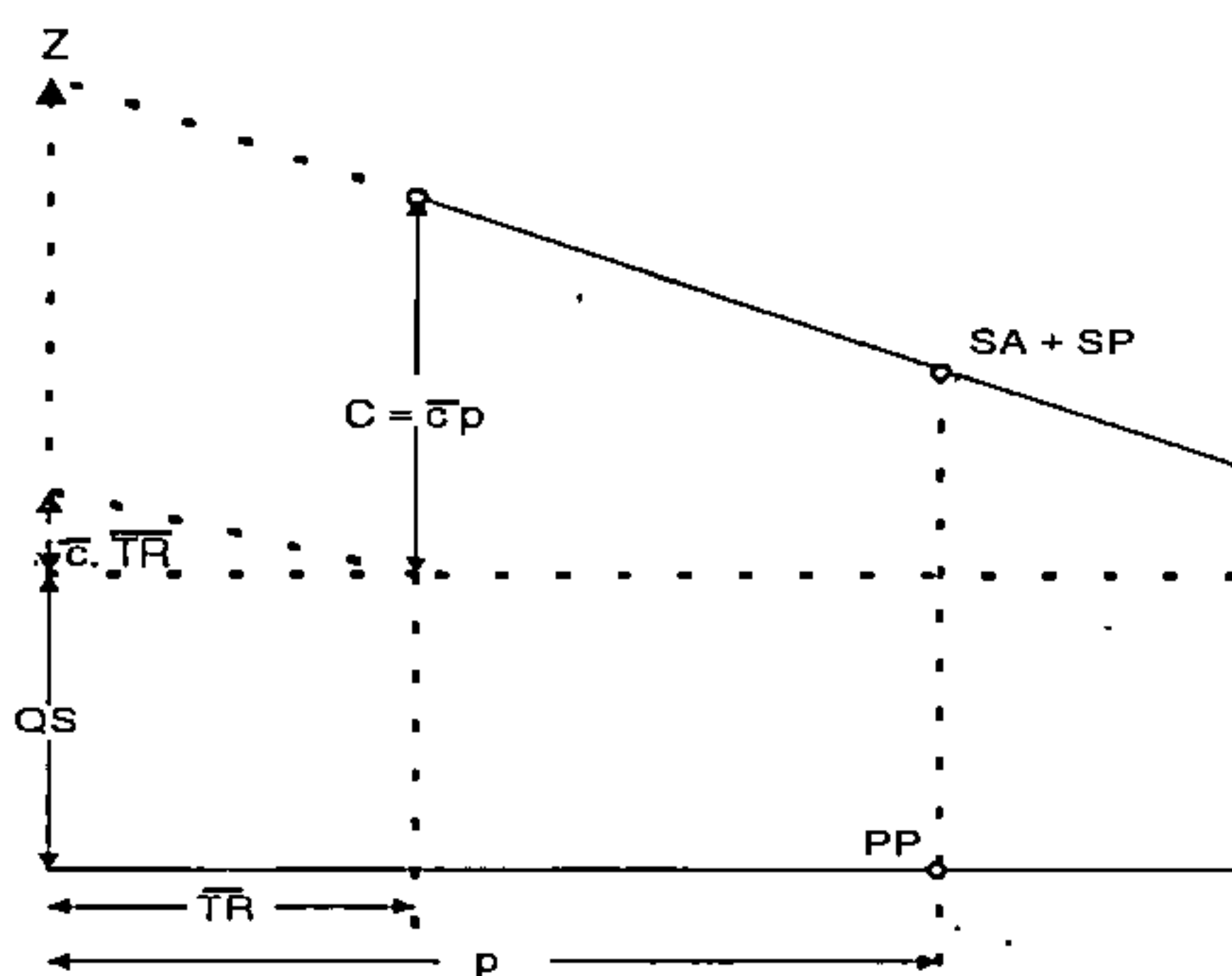
SA = Saldo en almacén (u)

SP = Saldo pendiente de entrega (u)

Z = $QS + \bar{c}(\overline{TR} + p)$ = Nivel de inventario

Así, por ejemplo, para el ítem "forros para molinos" incluido en el bloque 002, de periodicidad mensual, en el PP= punto de pedido (1^{ra} semana del mes en curso) siendo:

$$\begin{aligned} QS &= 7400 \text{ kgr.} \\ \bar{C} &= 450 \text{ kgr./día} \\ \bar{TR} &= 14 \text{ días} \\ p &= \text{mensual} \\ SA &= 14120 \text{ kgr.} \\ SP &= 0 \text{ kgr.} \end{aligned}$$



$$R = 7400 + 450 (14 + 30.4) - (14120 + 0) \cong 13260$$

Nota: Sistema de gestión de stock de periodicidad p constante y cantidad R variable.

Cálculo de la periodicidad de reposición y nivel óptimo de inventario. Método 123

Utilización La *gestión de stocks en un almacén de productos terminados* para su venta es muy distinta a la de un almacén de materias primas, pudiéndose observar que la demanda C de un artículo por período de tiempo p no es constante, ajustándose generalmente a una distribución probabilística de Simeon-Denis Poisson.

El método 123 permite calcular con qué periodicidad debe efectuarse la reposición y cuál debe ser el nivel óptimo de inventario Z .

$$\text{Cantidad a reponer (R)} = \text{Óptimo (Z)} - \text{Saldo (S)}$$

Teoría Teoría de la optimización. Gestión económica de stocks.

Bibliografía ACKOFF, R. y SASIENI, M. *Fundamentos de investigación de operaciones*. México: Limusa-Wiley, 1971, p. 197.

Modelo practico El almacén de ventas de una empresa dedicada a la producción y comercialización de prendas tejidas en lana de alpaca, debe reaprovisionarse de *pullovers* cuya demanda $\bar{C}$ en el tiempo p se ajusta a una distribución probabilística de Poisson con consumo medio $c = 2.68$ cientos de unidades por semana (cu/s).

El costo de agotamiento (C_{agot}) es de 95.9 \$/cuxs; el costo de almacenamiento (C_{alma}) de 52.5 \$/cuxs; y el costo de formulación de un pedido (k) de 80\$.

Se necesita determinar cuál será la periodicidad entre lanzamientos aconsejada P_e [s] y el nivel óptimo de inventario Z_o [cu] a fin de hacer más eficiente la gestión de stocks.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

La probabilidad de tener una demanda C en el tiempo p tratándose de una distribución de Poisson está dada por:

$$P_p(C) = \frac{e^{-\bar{C} \cdot p} (\bar{C} \times p)^C}{C!}$$

El nivel óptimo de inventario (Z_0) es el menor valor que satisface la expresión:

$$\bar{A}F(z) = \sum_{c=0}^z P_p(C) + (z + \frac{1}{2}) \sum_{c=z+1}^{\infty} \frac{P_p(C)}{C} > \frac{C_{agot}^*}{C_{alma} + C_{agot}} = \frac{95.9}{52.5 + 95.9} = 0.6462$$

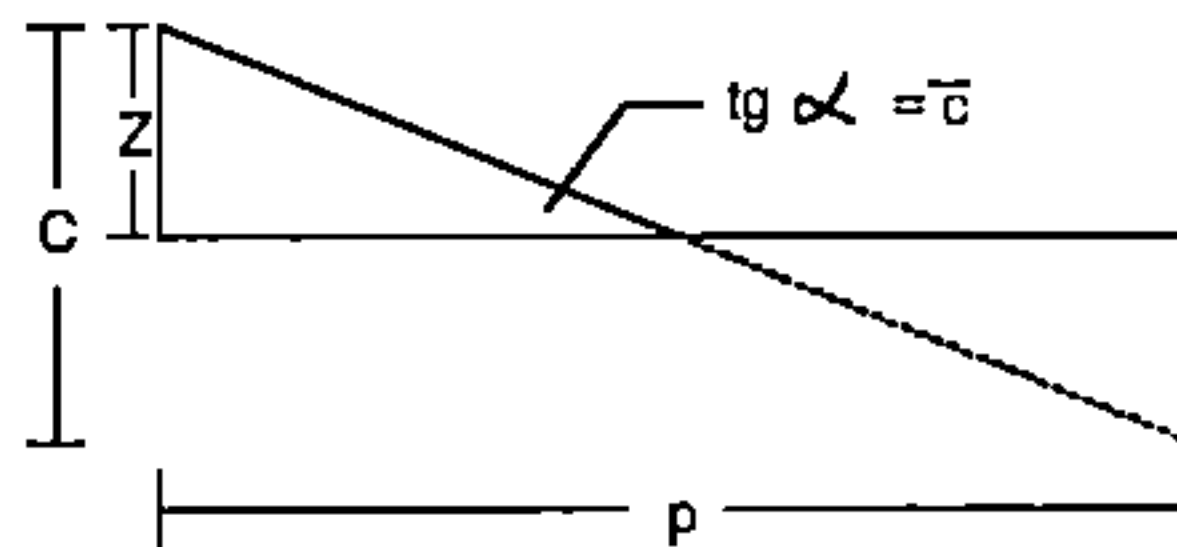
El costo de gestión de stock** correspondiente al período p vendrá dado por (faltando considerar el costo de lanzamiento K):

$$F(z) = C_{alma} P \sum_{c=0}^z (z - \frac{c}{2}) P_p(C) + \frac{C_{alma} p z^2}{2} \sum_{c=z+1}^{\infty} \frac{P_p(C)}{C} + \frac{C_{agot} p}{2} \sum_{c=z+1}^{\infty} (c - z)^2 \frac{P_p(C)}{C}$$

* La expresión $\Delta F(z) >$ igualando $\frac{C_{agot}}{C_{alma} + C_{agot}}$ se obtiene igualando a cero la $\frac{dF(Z)}{dZ}$

** El nivel de inventario (Z) puede ser suficiente o insuficiente según su relación con la demanda C en el tiempo p .

$$\text{Si } C > Z \Rightarrow \text{El costo } F(z) = \frac{C_{alma} p z^2}{2 \bar{c}} + \frac{C_{agot} p (c - z)^2}{2 \bar{c}}$$



$$\text{Si } C > Z \Rightarrow \text{El costo } F(z) = C_{alma} p (z - \frac{c}{2})$$



Si se hubiese intentado calcular la periodicidad con el "método determinístico".

$$p_e = \frac{q_0}{\bar{c}} \sqrt{\frac{2K\bar{c}}{C_{alma}}} = \sqrt{\frac{2 \times 80 \$ \times 2.68 \text{ cu/s}}{52.5 \$/\text{cu.s}}} = \frac{2.86 \text{ cu}}{2.68 \text{ cu/s}} = 1.07 \text{ s}$$

Este valor discrepará con el obtenido mediante el "método probabilístico" denominado 123:

Paso 1: Se programa cada semana ($p = 1s$)

$$P_1(C) = \frac{e^{-2.68} \times 2.68^C}{C!} = \frac{0.0686 \times 2.68^C}{C!}$$

C	$P_1(C)$	$\frac{P_1(C)}{C}$	$\sum_{c=0}^z P_1(C)$	$\sum_{c=z+1}^{\infty} \frac{P_1(C)}{C}$	$\Delta F(z) = \left \sum_{c=z}^z P_1(C) - (z + \frac{1}{2}) \sum_{c=z+1}^{\infty} \frac{P_1(C)}{C} \right $
0	0.0686	∞	0.0686	0.4412	0.2892
1	0.1837	0.1837	0.2523	0.2523	0.6385
2	0.2462	0.1231	0.4985	0.1343	0.8344 > 0.6462
3	0.2200	0.0733	0.7185	0.0610	0.9321
4	0.1474	0.0368	0.8659	0.0242	0.9747
5	0.0790	0.0158	0.9449	0.0084	0.9909
6	0.0353	0.0059	0.9801	0.0025	0.9964
7	0.0135	0.0019	0.9937	0.0006	0.9979
8	0.0045	0.0006	0.9982	0.0000	0.9982

Resultando un nivel óptimo de inventario $Z_0 = 2$ cu para $p = 1s$.

$$\begin{aligned}
 F(2) &= 52.5 \times 1 [(2-0)0.0686 + (2-0.5)0.1837 + (2-1)0.2462] + \\
 &\quad \frac{52.5(1)(2^2)}{2} 0.1343 + \frac{95.9(1)}{2} [(3-2)^2 0.0733 + (4-2)^2 0.0368 + \\
 &\quad (5-2)^2 0.0158 + (6-2)^2 0.0059 + (7-2)^2 0.0019 + (8-2)^2 0.0006] = \\
 &= 52.5 \times 0.6590 + 14.1015 + 47.95 \times 0.5262 = \\
 &= 73.93\$
 \end{aligned}$$

Paso 2: Se programa cada 2 semanas ($p = 2s$):

$$P_2(C) = \frac{e^{-5.36} \times 5.36^C}{C!} = \frac{0.0047 \times 5.36^C}{C!}$$

C	$P_2(C)$	$\frac{P_2(C)}{C}$	$\sum_{c=0}^Z P_2(C)$	$\sum_{c=Z-1}^{\infty} \frac{P_2(C)}{C}$	$\Delta F(Z) = \left \sum_{c=0}^Z P_2(C) + (Z + \frac{1}{2}) \sum_{c=Z-1}^{\infty} \frac{P_2(C)}{C} \right $
0	0.0047	∞	0.0047	0.2365	0.1230
1	0.0252	0.0252	0.0299	0.2113	0.3469
2	0.0675	0.0338	0.0974	0.1776	0.5414
3	0.1206	0.0402	0.2181	0.1374	0.6988 > 0.6462
4	0.1617	0.04054	0.3797	0.0969	0.8160
5	0.1733	0.0347	0.5531	0.0623	0.8956
6	0.1548	0.0258	0.7079	0.0365	0.9450
7	0.1186	0.0169	0.8264	0.0195	0.973
8	0.0794	0.0099	0.9059	0.0096	0.9876
9	0.0473	0.0053	0.9532	0.0044	0.9945
10	0.0254	0.0025	0.9785	0.0018	0.9976
11	0.0124	0.0011	0.9909	0.0007	0.9989
12	0.0055	0.0005	0.9964	0.0002	
13	0.0023	0.0002	0.9987	0.0001	
14	0.0009	0.0001	0.9995	0.0000	
15	0.0003	0.0000	0.9998		

Resulta un nivel óptimo de inventario $Z_0 = 3$ cu para $p = 2s$

$$\begin{aligned}
 F(3) = & 52.5 \times 2[(3-0)0.0047 + (3-0.5)0.0252 + (3-1)0.0675 + \\
 & (3-1.5)0.1206] + \frac{52.5 \times 2 \times 3^2}{2} + \frac{95.9 \times 2}{2} [(4-3)^2 0.0404 \\
 & + (5-3)^2 0.0347 + (6-3)^2 0.0258 + (7-3)^2 0.0169 + (8-3)^2 0.0099 \\
 & + (9-3)^2 0.0053 + (10-3)^2 0.0025 + (11-3)^2 0.0011 + (12-3)^2 0.0005 \\
 & + (13-3)^2 0.0002 + (14-3)^2 0.0001] = 105 \times 0.393 + 64.9215 \\
 & + 95.9 \times 1.3856 = 239.07\$
 \end{aligned}$$

Paso 3: Se programa cada 3 semanas ($p = 3s$):

$$P_3(C) = \frac{e^{-8.04} \times 8.04^C}{C!} = \frac{0.0003 \times 8.04^C}{C!}$$

C	$P_3(C)$	$\frac{P_3(C)}{C}$	$\sum_{c=0}^Z P_3(C)$	$\sum_{c=Z+1}^{\infty} \frac{P_3(C)}{C}$	$\Delta F(Z) = \left \sum_{c=0}^Z P_3(C) + \left(Z + \frac{1}{2} \right) \sum_{c=Z+1}^{\infty} \frac{P_3(C)}{C} \right $
0	0.0003	∞	0.0003	0.1459	0.0733
1	0.0026	0.0026	0.0029	0.1433	0.2179
2	0.0104	0.0052	0.0133	0.1381	0.3587
3	0.0279	0.0093	0.0412	0.1288	0.4921
4	0.0561	0.0140	0.0974	0.1148	0.6140
5	0.0902	0.0180	0.1876	0.0968	0.7197 > 0.6462
6	0.1209	0.0202	0.3085	0.0766	0.8064
7	0.1389	0.0198	0.4474	0.0568	0.8731
8	0.1396	0.0174	0.5870	0.0393	0.9211
9	0.1247	0.0139	0.7116	0.0255	0.9535
10	0.1002	0.0100	0.8119	0.0154	0.9740
11	0.0733	0.0067	0.8852	0.0088	0.9861
12	0.0491	0.0041	0.9343	0.0047	0.9928
13	0.0304	0.0023	0.9646	0.0023	0.9963
14	0.0174	0.0012	0.9821	0.0011	0.9980
15	0.0093	0.0006	0.9914	0.0005	0.9988
16	0.0047	0.0003	0.9961	0.0002	0.9992
17	0.0022	0.0001	0.9983	0.0001	0.9993
18	0.0010	0.0001	0.9993	0.0000	
19	0.0004	0.0000	0.9997		

Resulta un nivel óptimo de inventario $Z_0 = 5cu$ para $p = 3s$

$$\begin{aligned}
 F(5) = & 52.5 \times 3(5-0)0.0003 + (5-0.5)0.0026 + (5-1)0.0104 + \\
 & (5-1.5)0.0279 + (5-2)0.0561 + (5-2.5)0.0902 + \\
 & \frac{52.5 \times 3 \times 5^2}{2} 0.0968 + \frac{95.9 \times 3}{2} [(6-5)^2 0.0202 + (7-5)^2 0.0198 + \\
 & (8-5)^2 0.0174 + (9-5)^2 0.0139 + (10-5)^2 0.0100 + (11-5)^2 0.0067 + \\
 & (12-5)^2 0.0041 + (13-5)^2 0.0023 + (14-5)^2 0.0012 + (15-5)^2 0.0006 + \\
 & (16-5)^2 0.0003 + (17-5)^2 0.0001 + (18-5)^2 0.0001] = \\
 & 157.5 \times 0.5463 + 190.575 + 143.85 \times 1.5425 = 498.51\$
 \end{aligned}$$

P(s) Intervalo entre lanzamientos	Z(u) Nivel óptimo de inventario	Costo de gestión de stock F(z) (\$)	$H(p) = \frac{K + F(z)}{p}$ Costo de gestión total semanal (\$/s)
1	200	74.43	154.43
2	300	238.80	159.40
3	500	500.02	193.34

El costo de gestión de stock semanal H es una función del intervalo entre lanzamientos (periodicidad) que puede ser graficado mediante la expresión:

$$H(p) = \frac{a}{p} + b + cp$$

La curva más simple que pasando por 3 puntos dados tiende a infinito para $p = 0$ y $p = \infty$, cuyos coeficientes se determinan mediante tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$\text{para } p = 1 : H(P) = 154.43 = a + b + c$$

$$\text{para } t = 2 : H(T) = 159.40 = a/2 + b + 2c$$

$$\text{para } t = 3 : H(T) = 193.34 = a/3 + b + 3c$$

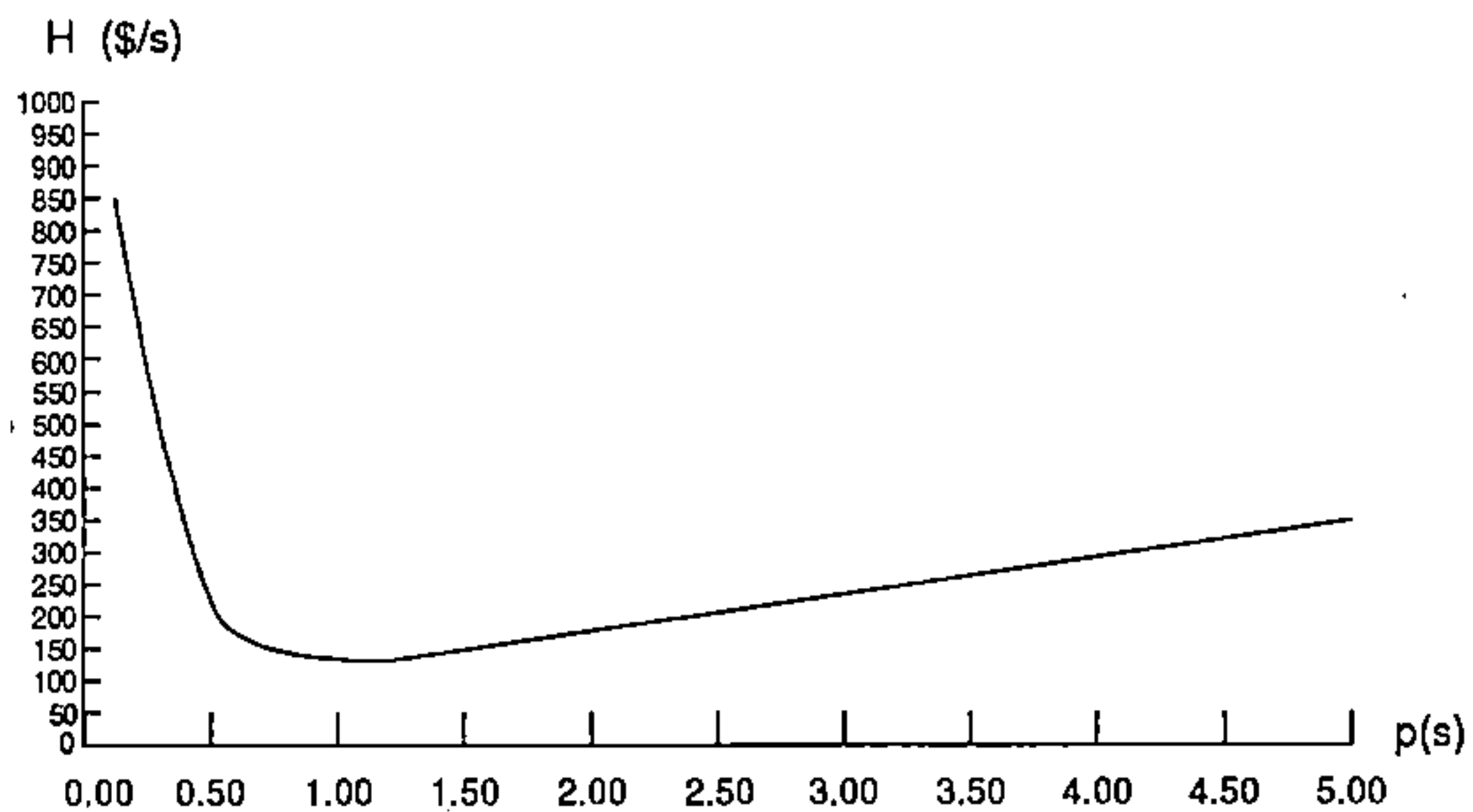
$$\text{Resultando } a = 86.91, b = 19.10, c = 48.43$$

El período óptimo, que hace el costo semanal mínimo se obtiene derivando e igualando a cero su expresión:

$$\frac{dH(t)}{dt} = -\frac{a}{p^2} + c = 0$$

$$\text{de donde } P_o = \sqrt{a/c} = \sqrt{86.91/48.43} = 1.34 \text{ s}$$

La curva obtenida $H = 86.91 p^{-1} + 19.10 + 48.43 p$ es la graficada.



El nivel óptimo de inventario se obtiene por simple interpolación:

$$\frac{1.34 - 1}{2 - 1} = \frac{Z_0 - 200}{300 - 200}$$

Consecuentemente la periodicidad económica es de 10 días y el nivel óptimo de inventario de $Z_0 = 234$ unidades.

Regulación del stock de protección de un almacén de productos terminados, mediante el método de la "escala móvil" y el "juego de los stocks"

Utilización	Cuando se producen distintos artículos, la contribución de la demanda mensual a la demanda anual no es uniforme; cuando la demanda mensual es variable, la empresa debe establecer su política respecto del stock de protección, regulando la reposición y por ende la producción, por intermedio de su almacén de productos terminados. En este caso una política podría ser contar con un stock de protección equivalente a las ventas pronosticadas para el mes siguiente que garantice a su vez que no se produzcan a lo largo del tiempo más de un 5% de casos en los cuales la demanda no pueda ser satisfecha: $q_s = D'_i + 1 \geq z S_{D_i - D'_i}$
Teoría	Planeamiento y control de stocks.
Bibliografía	BIEGEL, J. <i>Control de producción: Procedimiento cuantitativo</i> . 8a. edición. México: Herrero Hnos., 1978, p. 54.
Modelo práctico	En una empresa dedicada a la manufactura de cocinas que produce cuatro modelos distintos se observa que la demanda anual de A está creciendo en forma geométrica con una importante tasa (T) del 18% deseándose verificar si el método de predicción empleado, regresión estadística de la demanda anual SD_i y contribución R_j de la demanda mensual a la demanda anual, de los últimos cuatro años se ajusta a la realidad y establecer simultáneamente por razones económicas y vista la variabilidad de la demanda mensual un método de regulación del stock de productos terminados.

Segun la ley exponencial de regresión estadística ensayada con el año en curso K codificado como año 5, el pronóstico de ventas anuales resultó de $SD'_5 = 2620 (1+0.18)^5 = 6000$ unidades y la contribución mensual:

Mes (i)	$R'_i(\%)$	D'_i
1	3.33	200
2	3.33	200
3	6.67	400
4	10.00	600
5	10.00	600
6	10.00	600
7	13.33	800
8	13.33	800
9	6.67	400
10	6.67	400
11	3.33	200
12	13.34	800
Σ	100.00 %	$SD'_k = 6000 \text{ u}$

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Al finalizar el año K se cuenta con los datos reales de la demanda mensual la cual se compara con la demanda pronosticada según el R_j establecido, obteniendo la diferencia:
demanda real-demanda pronosticada

Mes	Período j	D'_j	D_j	$D_j - D'_j$
Enero	1	200	248	48
Febrero	2	200	240	40
Marzo	3	400	322	-78
Abril	4	600	525	-75
Mayo	5	600	550	-50
Junio	6	600	681	81
Julio	7	800	795	-5
Agosto	8	800	803	3
Setiembre	9	400	422	22
Octubre	10	400	415	15
Noviembre	11	200	190	-10
Diciembre	12	800	715	-85
		6000	5906	-94

Paso 2: Se procede a determinar la *escala móvil* (EM), el valor absoluto de la diferencia en la demanda de períodos sucesivos, tanto de las ventas pronosticadas como de las reales, con la fórmula $[(D_{i+1} - D'_{i+1}) - (D_i - D'_i)]$. Por ejemplo, la escala móvil para enero-febrero es

$$[(240 - 200) - (248 - 200)] = 8$$

Mes i	Demanda pronosticada (D'_i)	Demanda real (D_i)	Diferencia ($D_i - D'_i$)	Escala móvil (EM)
1	200	248	48	
2	200	240	40	8
3	400	322	-78	118
4	600	525	-75	3
5	600	550	-50	25
6	600	681	81	131
7	800	795	-5	86
8	800	803	3	8
9	400	422	22	19
10	400	415	15	7
11	200	190	-10	25
12	800	715	-85	75
				$\sum EM = 505$

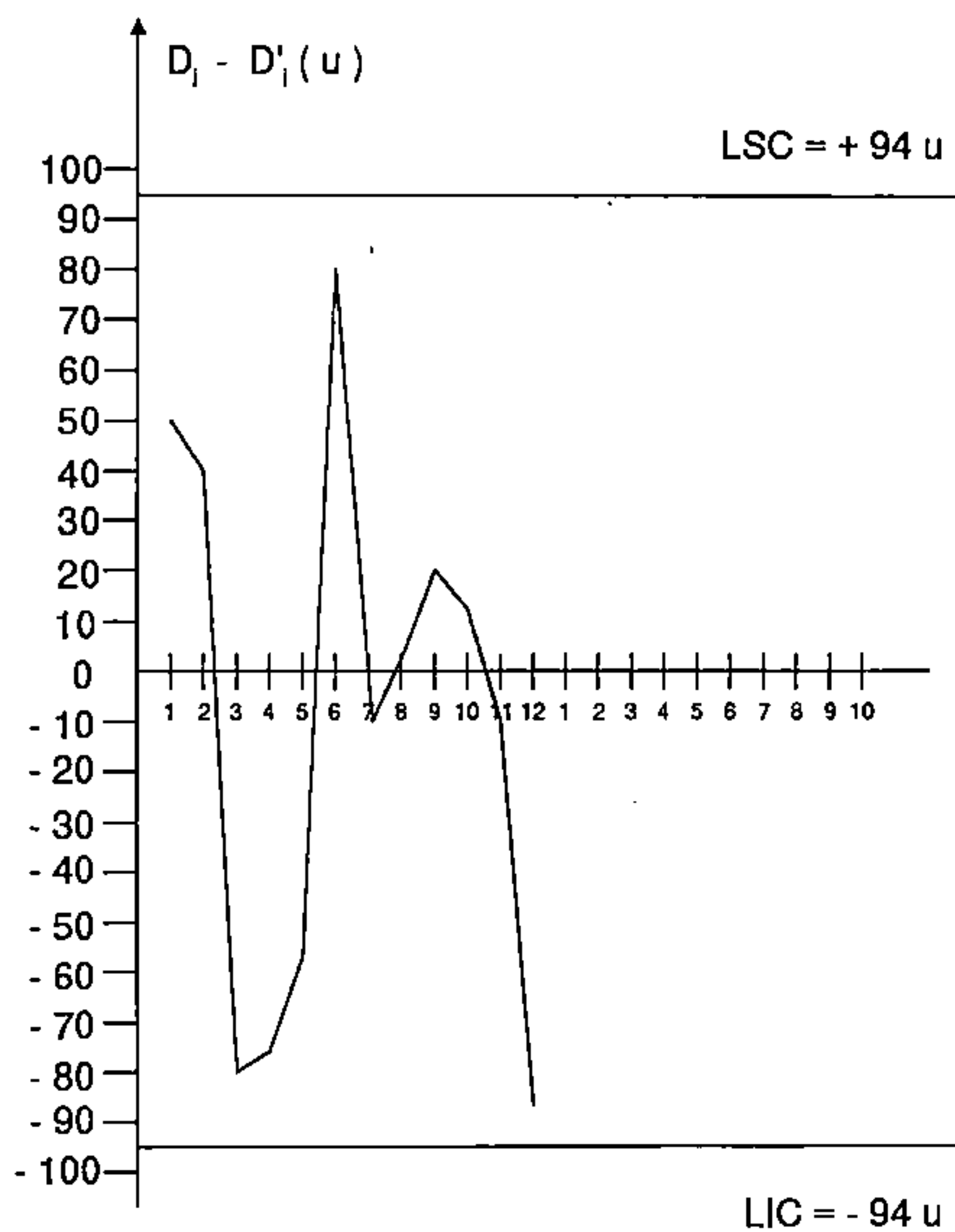
Y su media: $\overline{EM} = \frac{\sum EM}{n} = \frac{505}{11} = 45.91$

Paso 3: Se establecen los límites de control (LC), con el nivel de confianza deseado. Con un NC = 98% en la tabla de la distribución normal $Z = 2.045$

El intervalo de confianza será para $D_i - D'_i$

$$LC = \pm Z \cdot \overline{EM} = \pm 2.054 \times 45.91 \approx \pm 94 \text{ unidades}$$

Paso 4: Se construye la gráfica de control del pronóstico con la diferencia ($D_i - D'_i$), señalando los límites de control hallados.



Paso 5: Se observa que las diferencias ($D_i - D'_i$) caen dentro de los límites de control y no presentan tendencias, por lo que el método de predicción es apropiado.

Se procede ahora a pronosticar con el nivel de confianza fijado, la demanda del año $K + 1$ y a confeccionar el plan tentativo de ventas.

Mes (i)	$R_i(\%)$	D'_i
1	3.33	250
2	3.33	250
3	6.67	500
4	10.00	700
5	10.00	700
6	10.00	700
7	13.33	900
8	13.33	900
9	6.67	500
10	6.67	500
11	3.33	250
12	13.34	950
Σ	100.00 %	$SD'_{k+1} = 7100 \text{ u}$

Paso 6: Habiendo la empresa decidido establecer un stock de reserva q_s para cada uno de los modelos de cocinas producidas, igual a la venta pronosticada para el mes siguiente, se recurre al juego de los stocks, resultando programas de producción mensual variables con los cuales se efectúan los balances de la línea de montaje.

Así, por ejemplo, si el stock final de diciembre del año k resultó $S_i = 715$ unidades por haber sido tanto las ventas como la producción distintas a las pronosticadas, la programación de montaje del modelo de cocina A para el mes de enero del año $k + 1$ debe ser:

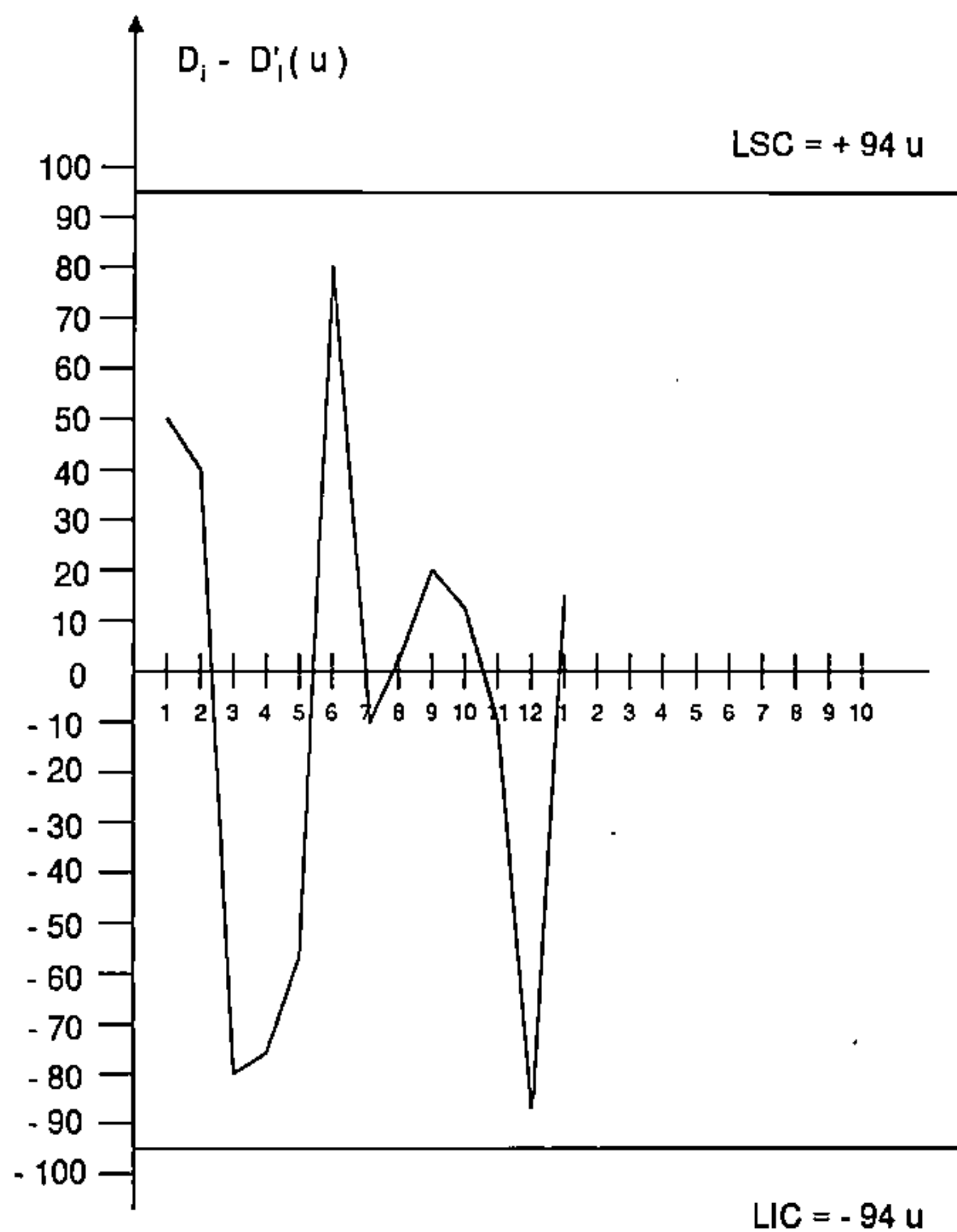
$$Q'_1 = D'_2 - S_i + D'_3 = 250 - 715 + 500 = 35 \text{ unidades}$$

Si ventas y producción reales de enero resultaron ser $D_1 = 261\text{u}$ y $Q_1 = 31\text{u}$, la programación de montaje del modelo de cocina A para el mes de febrero del año $k+1$ debe ser:

$$Q'_2 = D'_3 - S_i + D'_4 = 500 - 485 + 700 = 715 \text{ unidades}$$

Siendo $S_{i2} = S_{i1} - D_1 + Q_1 = 715 - 261 + 31 = 485 \text{ u} \geq 94 \text{ u}$ y así sucesivamente.

Paso 7: Se procede a reajustar mensualmente sobre la gráfica de control las diferencias $D_i - D'_i$ para observar si la metodología del pronóstico sigue teniendo validez o debe ser corregida.



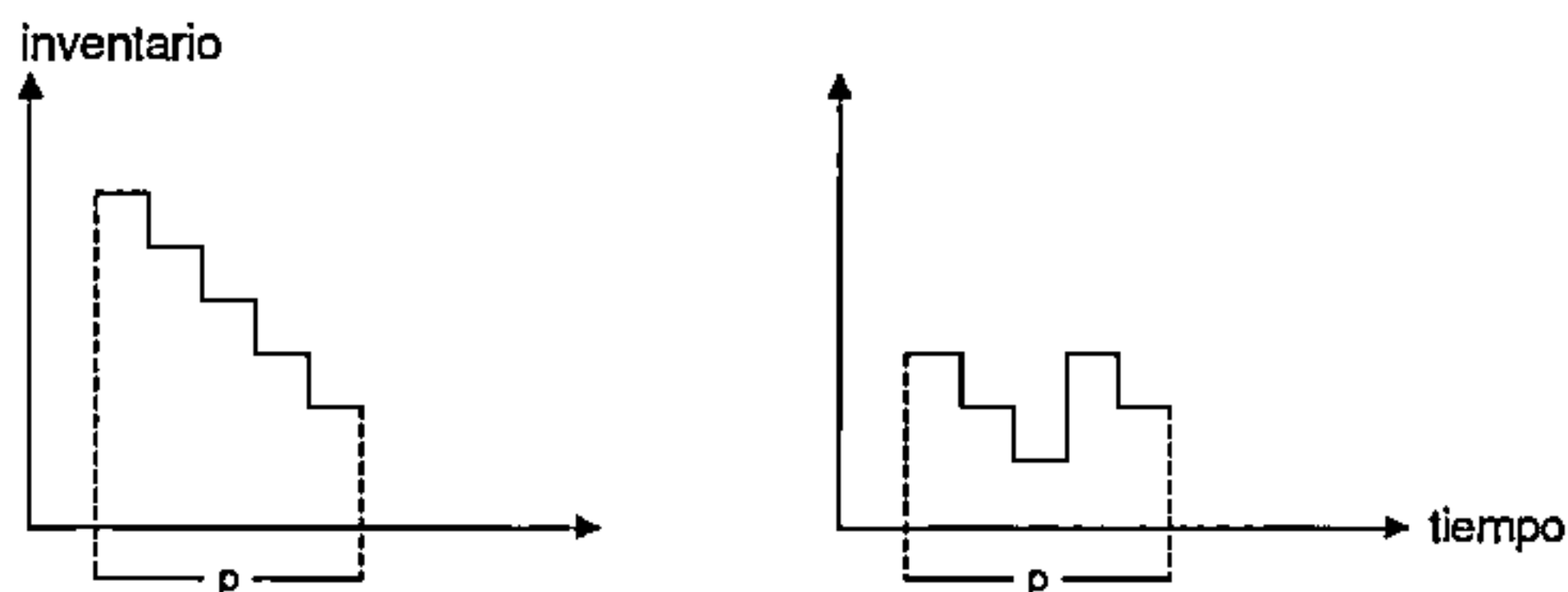
Introducción de las tarjetas kanban en la administración de producción y logística

Utilización

El uso de las tarjetas "kanban", cuyo significado en español es "cartel", ha resultado un excelente medio para la aplicación práctica de los conceptos de producción "justo a tiempo" JIT (Just in Time) y el diseño de sistemas de "tecnología de producción optimizada" OPT (Optimized Production Technology de E. Goldratt).

Un sistema OPT se basa en el principio de que *la planificación de los recursos productivos es prioritario frente a la planificación de los requerimientos de inventario*.

Se pretende trabajar sobre "pedidos en firme", produciéndolos "justo a tiempo" para reducir stocks activos y de protección en los almacenes y planta.



Ambos modelos han satisfecho en el período p la demanda C pero el justo a tiempo lo ha hecho con un menor inventario.

Con el JIT se han logrado reducciones de inventario del orden de 80%

Un sistema OPT comienza recurriendo a una técnica simplificada de administración, como lo es aquella que emplea las tarjetas o carteles kanban, con una eficiente planificación de los recursos productivos, en una fábrica con automatización

creciente y con la convicción del personal de que "no se puede incumplir". Esto último da por resultado una automotivación y la reducción de los índices de ausentismo y de unidades defectuosas, con el consecuente incremento de la productividad, medible mediante el ratio unidades/hora hombre.

Un sistema OPT ataca los factores que pueden producir embotellamientos eliminándolos mediante el conjunto de recursos lógicos y tecnológicos:

Repartir las pausas para refrigerio, evitando que los atascos obstaculicen la producción.

- Preferir que los obreros permanezcan inactivos antes que sus máquinas produzcan exceso de inventario.
- Considerar los efectos de la alteración de las demandas.
- Hacer posible la manufactura flexible en las estaciones de trabajo mediante dispositivos de cambio rápido de utillaje disminuyendo las horas necesarias para la preparación de máquinas, como si se tratase de un cambio de llantas o el llenado de tanque de combustible en una competencia automovilística de circuito.

Teoría	Planeamiento y control de la producción.
Bibliografía	MONDEN, Y. <i>El sistema de producción Toyota</i> . 2a. edición. Madrid: CDN, 1987, p. 15.
Modelo práctico	Una fábrica de muebles metálicos decide introducir el uso de las tarjetas kanban en la administración de producción y logística, escoge para ensayar su empleo, la línea de <i>chaise longues</i> (CL), cuya demanda anual de 9,000 unidades es atendida mediante la emisión de órdenes de ensamble de lotes de 1,000 aproximadamente cada cuarenta días, cantidad que en una línea conformada por 4 operarios se arma en 27 días laborables. En esta línea se ha escogido una pieza, producida por la sección Tornería del Departamento de Elaboración, la tuerca ciega niquelada (TC) cuyo requerimiento es de 2 unidades/CL, su costo 0.40 \$/u, EQQ y punto de pedido en el almacén de montaje, respectivamente 1,500 u/lote y 1,500 unidades, con un stock de protección de 1,000 unidades.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Diseño de los diferentes kanban necesarios:

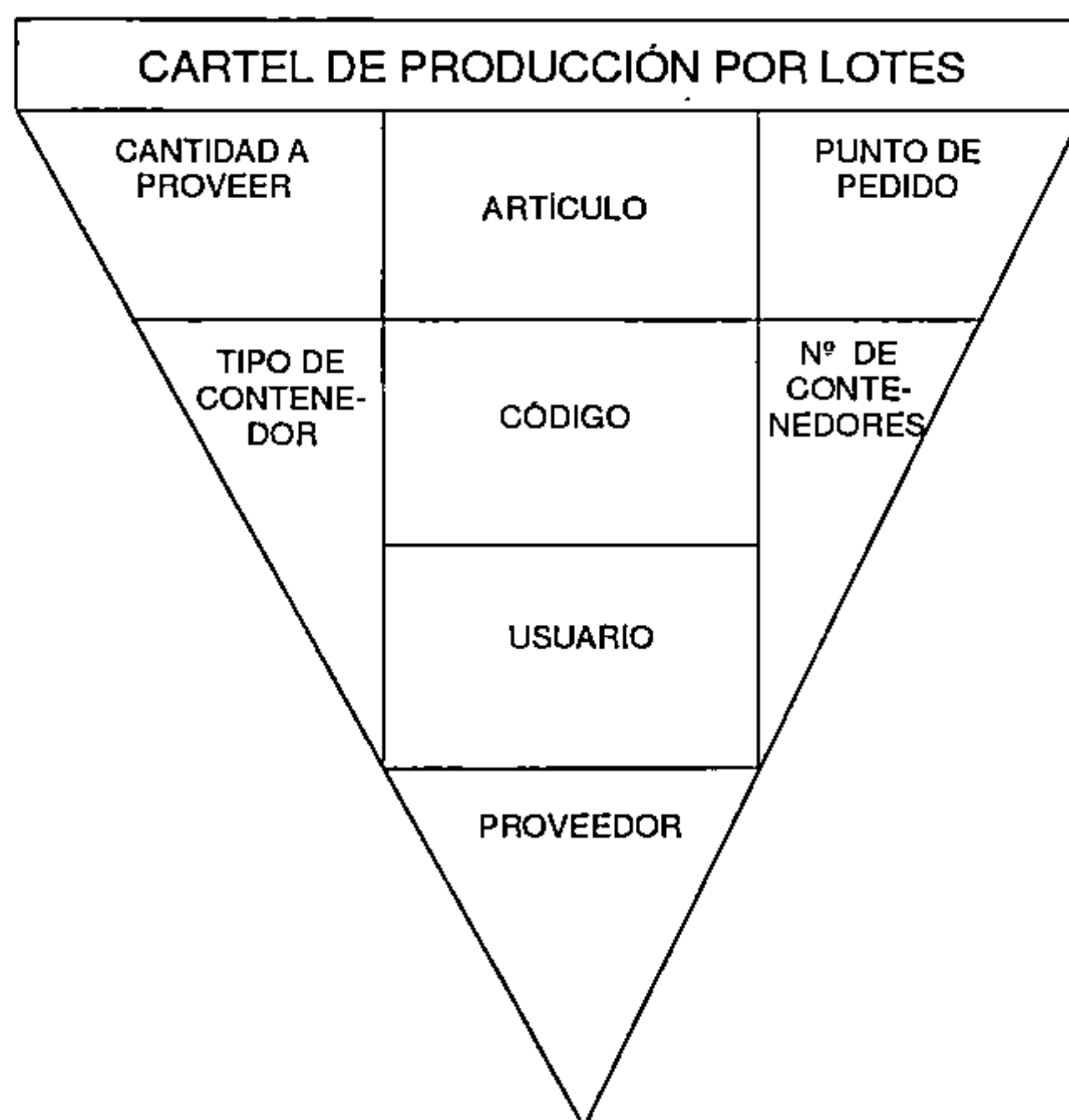
Cartel de transporte

Cartel de producción

Cartel de producción de lotes

CARTEL DE TRANSPORTE		
PROVEEDOR		USUARIO
ARTÍCULO		CÓDIGO
TAMAÑO DEL LOTE	TIPO DE CONTENEDOR	NÚMERO
	CAPACIDAD	

CARTEL DE PRODUCCIÓN	
ARTÍCULO	CÓDIGO
PROVEEDOR	PROCESO



Paso 2: Cálculo para cada componente de los diferentes productos, de la cantidad de tarjetas necesarias en cada etapa logística y producción, tratando de aplicar los conceptos de JIT.

Ello dependerá en caso de la demanda, tiempo de aprovisionamiento, tamaño del lote económico (EOQ) y hasta del tipo de contenedores disponibles (aplicabilidad y capacidad de los mismos).

En el caso del componente TC del producto CL:

	K de Transporte	K de Producción ordinario	K de Producción señal	K de Proveedor
Montaje	2 a			
Almacén de Montaje	3 d	4 b	1 c	
Elaboración	1 e	3 b		
Almacén de Materias Primas				
Proveedor XX				

CARTEL DE TRANSPORTE (a)		
PROVEEDOR ALMACÉN DE MONTAJE		USUARIO MONTAJE
ARTÍCULO TUERCA CIEGA		CÓDIGO TC
TAMAÑO DEL LOTE 1000 TUERCAS	TIPO DE CONTENEDOR B	NÚMERO 2
	CAPACIDAD 500 TUERCAS	

CARTEL DE PRODUCCIÓN (b)	
ARTÍCULO TUERCA CIEGA	CÓDIGO TC
PROVEEDOR ELABORACIÓN	PROCESO TORNEADO - NIQUELADO

CARTEL DE PRODUCCIÓN POR LOTES (c)		
CANTIDAD A PROVEER 1500	ARTÍCULO TUERCAS CIEGAS NIQUELADAS	PUNTO DE PEDIDO 1500
TIPO DE CONTENEDOR B	CÓDIGO TC	Nº DE CONTENEDORES 3
	USUARIO ALMACÉN DE MONTAJE	
	PROVEEDOR ELABORACIÓN	

CARTEL DE TRANSPORTE (d)		
PROVEEDOR ELABORACIÓN		USUARIO ALMACÉN DE MONTAJE
ARTÍCULO TUERCA CIEGA		CÓDIGO TC
TAMAÑO DEL LOTE 1500 TUERCAS	TIPO DE CONTENEDOR B	NÚMERO 3
	CAPACIDAD 500 TUERCAS	

CARTEL DE TRANSPORTE (e)		
PROVEEDOR ALMACÉN DE MATERIA PRIMA		USUARIO TORNERÍA
ARTÍCULO BARRA HEXAGONAL DE BRONCE DE 2:40 M.		CÓDIGO BB
TAMAÑO DEL LOTE 7 BARRAS	TIPO DE CONTENEDOR F	NÚMERO 1
	CAPACIDAD 7 BARRAS	

Paso 3: Se establece el procedimiento, el mismo que puede observarse en el diagrama de circulación de contenedores y carteles de la figura.

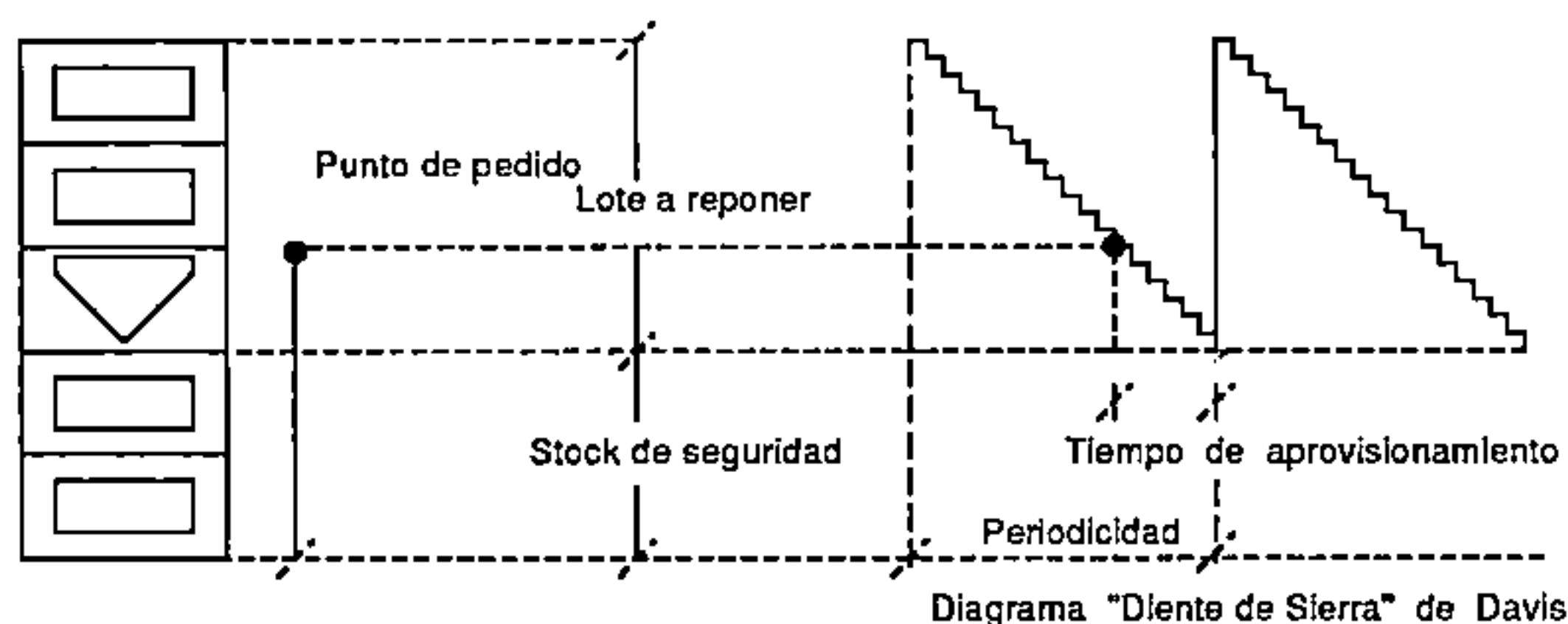
- 1 Montaje recibe una O/T para producir 1,000 CL (2 lotes de 500). Busca en el Casillero de Tarjetas K de Transporte los 2 kanban (a) existentes para aprovisionarse de TC, enviándolos al Almacén de Montaje.
- 2 Almacén de Montaje localiza los cajones (contenedor tipo "B") con piezas solicitadas por

montaje. Cada contenedor tiene adherido un K de Producción (b). Desprende 2 kanban y los archiva en el Casillero de Tarjeta K de producción, adhiere los kanban de transporte recibidos de Montaje y le envía entonces estos dos contenedores llenos con TC.

- 3 Montaje inicia la producción del primer lote. Al vaciarse un contenedor lo envía, esta vez con su K de transporte adherido, al Almacén de Montaje.
- 4 Almacén de Montaje repite la operación: Desprende de un contenedor lleno su K de producción y lo archiva en su casillero, le adhiere el K de transporte desprendido del contenedor vacío recibido y lo despacha a Montaje.

La sucesión de pasos 3 y 4 es toda la relación existente en Montaje y el Almacén de Montaje. Se repite hasta concluida la O/T.

- 5 Al desprender Almacén de Montaje el K de producción "señal" triangular (C) procede a archivarlo junto a los anteriores kanban (b) en el casillero correspondiente verificando el número de tarjetas existentes —incluida la triangular— que en este caso serán 3 porque así se ha calculado con el método de Camps - Davis.



Habiendo llegado el momento de reaprovisionarse de tuercas ciegas. Para ello coge el casillero K de transporte las tarjetas correspondientes (d) que deben ser tantas como las K de producción archivadas (en este caso 3) y las envía a Elaboración adheridas a igual número de contenedores vacíos.

- 6 Al recibir el pedido de Almacén de Montaje, Elaboración (Tornería) desprende los kanban (d) de los 3 contenedores, los archiva en el Casillero de Tarjetas K de transporte y prepara el vale de materiales (V/M)* que entrega al Almacén de Materia Prima:

* La aplicación del sistema de kanban puede extenderse al Almacén de Materia Prima, reemplazado en dicho caso al V/M con K de Transporte (e).

ORDEN DE MATERIALES					ALMACÉN de Materia Prima		SOLICITADO POR Elaboración	
CÓDIGO					DENOMINACIÓN		CANTIDAD	
B	B				Barras hexagonales de bronce de 2,40 m		7b	
RECIBIDO POR					SECCIÓN Tornería		FECHA	
							O/T o C/N	

O/T = Orden de trabajo

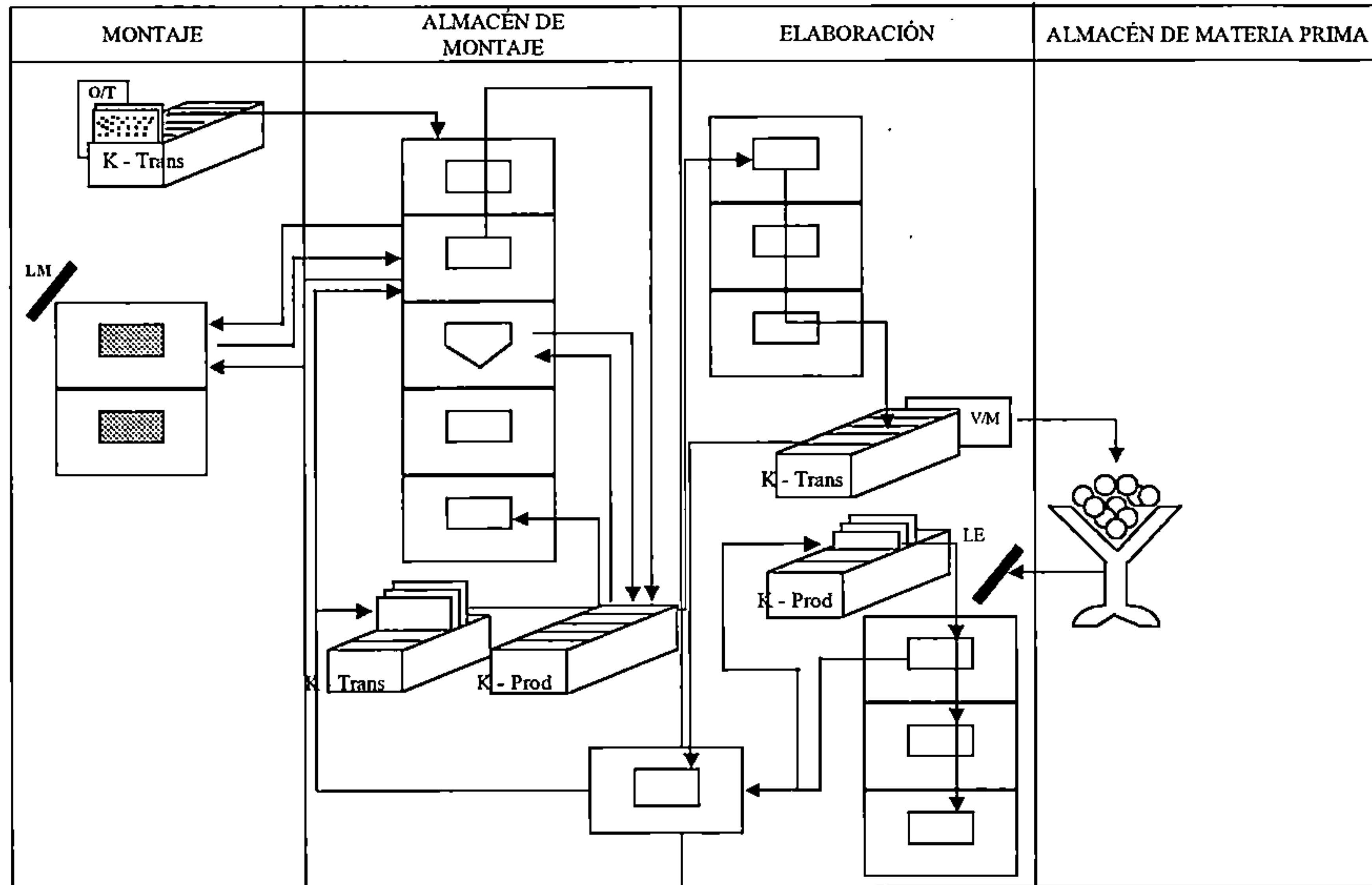
C/N = Cuenta Número

A su vez puede extenderse su uso fuera de la empresa, efectuando los pedidos a terceros con K de proveedor, y éstos introducir el sistema a la administración de su producción generalizándose su utilización.

- 7 El Almacén de Materia Prima entrega un caballete (contenedor tipo "F") con las 7 barras solicitadas contra recibo del V/M.
- 8 Elaboración simultáneamente con la preparación del V/M y el archivo de los kanban de transporte a la espera del torneado y niquelado de las tuercas, coge del Casillero de Tarjetas K de producción los kanban (b) correspondientes que en este caso deben ser 3, igual número que el de kanban de transporte (d), los adhiere a los contenedores e inicia el proceso de producción del lote de 1,500 tuercas.
- 9 Al terminarse el niquelado de las primeras 500 tuercas, es decir del primer contenedor, se desprende el kanban de producción (b), se archiva en su casillero, se retira del casillero de K de transporte el kanban correspondiente (d), se adhiere al contenedor y se entrega al Almacén de Montaje.
- 10 El Almacén de Montaje apila el contenedor, desprende y archiva en el casillero el kanban de transporte (d), y adhiere el kanban de producción que corresponde (b o c).

Los pasos 9 y 10 se repiten en este caso dos veces hasta completar las tres entregas escalonadas de la producción del lote de 1,500 tuercas ciegas.

DIAGRAMA DE CIRCULACIÓN DE CONTENEDORES Y CARTELES KANBAN



Evaluación de ofertas por calificación de factores ponderados

Utilización	Cuando en la decisión de otorgar una buena pro intervienen factores cuantificables económicamente como: • Costo del suministro • Forma de pago • Financiamiento y otros no cuantificadores económicamente como: • Plazo y forma de entrega • Calidad • Diseño estético y funcional • Empaque del producto • Prestigio, antigüedad y solvencia del productor • Garantía • Stock de repuestos • Servicio técnico La técnica más apropiada de evaluación es el Método de Comparación de Resultados Múltiples, de P.W. Bridgeman, una técnica semicuantitativa basada en el análisis adimensional mediante la calificación de los factores predominantes (los más importantes) ponderados exponencialmente, combinando factores a maximizar como potencias positivas y a minimizar como potencias negativas.
Teoría	Teoría de las decisiones.
Bibliografía	MILLER, D. y M. STARR. <i>Acuerdos ejecutivos e investigación de operaciones</i> . México: Herrero Hnos., 1961, p. 88.
Modelo práctico	Una fábrica productora de espuma flexible de poliuretano, desea aprovisionarse de diisocianato de tolueno para tres meses de producción. Por ser el monto del pedido considerable se piden cotizaciones para la importación del producto a proveedores de Alemania, Argentina y EE UU.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Consiste en la selección de los factores (3 a 5) que se considerarán en la evaluación de las ofertas. Los predominantes por su ponderación, los que se incluirán en los términos de referencia para que los productores puedan incluir en sus propuestas la información concerniente.

Factores	Ponderación (%)
F1 Costo puesto en nuestros almacenes	60
F2 Plazo de entrega	5
F3 Calidad del producto	25
F4 Seriedad de cumplimiento del proveedor	10

Paso 2: Se define la escala con la cual se calificarán los factores no cuantificables económicamente.

Escala de Calificación									
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Excelente	Muy bueno		Bueno		Regular		Inconveniente		

Paso 3: El Comité de Adjudicaciones conformado por representantes de producción, finanzas y logística efectúa la calificación de las propuestas recibidas:

Factores predominantes	Ponderación	Ofertas de proveedores			Escala
		A ₁	A ₂	A ₃	
F1 Costo puesto en el almacén	0.60	50	47	61	(*)
F2 Plazo de entrega	0.05	10	8	6	1 a 10
F3 Calidad del producto	0.25	8	8	10	1 a 10
F4 Seriedad de cumplimiento del proveedor	0.10	8	3	5	1 a 10
Nota (*): Precios ofertados en miles de US \$/lote		1.00			

Paso 4: Se calcula los denominados "resultados múltiples" para cada alternativa y se elige la de más alta evaluación.

$$\begin{aligned}
 R(A_1) &= 50^{-0.60} \times 10^{0.05} \times 8^{0.25} \times 8^{0.10} = 0.223 \\
 R(A_2) &= 47^{-0.60} \times 8^{0.05} \times 8^{0.25} \times 3^{0.10} = 0.206 \\
 R(A_3) &= 61^{-0.60} \times 6^{0.05} \times 10^{0.25} \times 5^{0.10} = 0.194
 \end{aligned}$$

El orden de mérito es el siguiente:

Orden de mérito		$\frac{R(A_i)}{R(A_{OPT})} (*)$
1	A1	$\frac{R(A_1)}{R(A_1)} = 1.00$
2	A2	$\frac{R(A_2)}{R(A_1)} = 0.92$
3	A3	$\frac{R(A_3)}{R(A_1)} = 0.87$

Por lo tanto se colocará la orden de compra al proveedor A₁.

APLICACIÓN AL ÁREA DE PROYECTOS

Los factores predominantes seleccionados en el estudio de macrolocalización realizado para la elección de la región de emplazamiento de una industria de transformación, sus ponderaciones y la calificación de las tres alternativas interesantes para la localización fueron las siguientes:

Factores predominantes	Ponderación	Alternativa			Escala
		L1	L2	L3	
F1 Proximidad a mercados consumidores	3	10	8	6	1 a 10
F2 Disponibilidad de materia prima en la región	3	6	3	8	1 a 10
F3 Nivel de remuneraciones en la región	2	5	1	3	Valor en \$/hr.
F4 Clima social	2	10	4	8	1 a 10

¿Cuál es la mejor región para la localización?

* La relación $R(A_1)/R(A_{opt})$ es un número puro, es decir un número sin dimensiones, resultando invariante, cuando se considere en lugar del precio del lote el precio unitario, su monto en dólares o en soles, la escala de calificación 1 a 20 en lugar de 1 a 10.

Evaluación del financiamiento de paquetes tecnológicos

Utilización	En la evaluación de propuestas de igual mérito, los precios deben ser ajustados considerando las características de los préstamos que acompañan a las ofertas.
Teoría	Flujo de fondos descontado.
Bibliografía	Autores varios. <i>Matemáticas financieras</i> .
Modelo práctico	Una empresa minera convoca una licitación pública internacional para el suministro de equipo para la rehabilitación de una planta de su fundición, con el requisito de un financiamiento integral.

Se presentan dos postores:

A ofrece el equipamiento solicitado en los términos de referencia por US\$10'000,000, pagaderos en una sola armada en yenes al producirse su embarque. El financiamiento que lo respalda es promocional de exportaciones en un 60% con tasa de interés de 9% anual al rebatir, con tres años de gracia (plazo previsto para la conclusión de las obras de rehabilitación) y diez amortizaciones anuales iguales y consecutivas. El préstamo complementario, por el 40% restante, de banca comercial, es en dólares americanos al 15% anual, con igual gracia y número de amortizaciones.

B ofrece igual equipamiento por US\$9'000,000, pagaderos en una sola armada en dólares al producirse el embarque, con igual plazo de entrega. El financiamiento que lo respalda es sólo comercial y de iguales características que el complementario de la primera propuesta.

¿A quién debería otorgar la buena pro el Comité de Adjudicaciones de la empresa minera?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se observará que:

- La tasa de descuento que la empresa minera utiliza en sus operaciones normales de crédito es de 12% anual.
- El dólar americano se devalúa respecto del yen a razón de 5% anual.

Paso 2: Se confecciona el cuadro de servicio de la deuda de cada alternativa:

a) Alternativa A

Año	Amor ₁ (1)	Int ₁ (2)	Factor de Devaluación (3)	Subtotal 1 (1+2).3	Amor ₂ (1)	Int ₂ (2)	Subtotal 2 (1+2)	Total mill. US\$
1		0.54	1.05	0.57		0.60	0.60	1,17
2	*	0.54	1.10	0.59		0.60	0.60	1,19
3		0.54	1.16	0.63		0.60	0.60	1,23
4	0.6	0.54	1.22	1.39	0.4	0.60	1,00	2,39
5	0.6	0.49	1.28	1.40	0.4	0.54	0,94	2,34
6	0.6	0.43	1.34	1.38	0.4	0.48	0,88	2,26
7	0.6	0.38	1.41	1.38	0.4	0.42	0,82	2,20
8	0.6	0.32	1.48	1.36	0.4	0.36	0,76	2,12
9	0.6	0.27	1.55	1.35	0.4	0.30	0,70	2,05
10	0.6	0.22	1.63	1.34	0.4	0.24	0,64	1,98
11	0.6	0.16	1.71	1.30	0.4	0.18	0,58	1,88
12	0.6	0.11	1.80	1.28	0.4	0.12	0,52	1,80
13	0.6	0.05	1.89	1.23	0.4	0.06	0,46	1,69
	6				4			24,3

b) Alternativa B

Año	Amortización (1)	Intereses (2)	Total mill. US\$ (1+ 2)
1		1.35	1.35
2	**	1.35	1.35
3		1.35	1.35
4	0.9	1.35	2.25
5	0.9	1.22	2.12
6	0.9	1.08	1.98
7	0.9	0.95	1.85
8	0.9	0.81	1.71
9	0.9	0.68	1.58
10	0.9	0.54	1.44
11	0.9	0.41	1.31
12	0.9	0.27	1.17
13	0.9	1.14	1.04
	9		20.5

* A los primeros tres años corresponden las cargas financieras preoperativas por un total de 3.59 millones de US\$.

** A los primeros tres años corresponden las cargas financieras preoperativas por un total de 4.05 millones de US\$.

Paso 3: Se efectúa el flujo de fondos descontado para cada una de las alternativas resultando mejor la propuesta B:

$$\begin{aligned} \text{VAN}_A (i=12\%) &= 1.17(1+0.12)^{-1} + 1.19 (1+0.12)^{-2} + \dots + 1.69 (1+0.12)^{-13} = \\ &= 11.48 \text{ mill US\$} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VAN}_B (i=12\%) &= 1.35(1+0.12)^{-1} + \dots + 1.04(1+0.12)^{-13} = \\ &= 10.35 \text{ mill US\$} \end{aligned}$$

El VAN de las alternativas debe hallarse por cuanto los préstamos además de ser en distintas monedas y con diferentes tasas de interés, pueden considerar distintos períodos de gracia y formas de reembolso.

Selección de proveedores, método de la vida útil

Utilización	Ante las alternativas de escoger proveedores, puede ser posible por ejemplo en el caso de herramientas, adoptar la mejor decisión comparando precios y vidas útiles.
Teoría	Evaluación de propuestas - Método de la vida útil.
Bibliografía	Prácticas de control de calidad en empresas industriales del medio.
Modelo práctico	La empresa xx consume llaves fijas de quijada importadas al proveedor A a un precio de 104 \$/juego. El consumo anual valorizado es de 9,600 \$/año. B, un fabricante local ofrece juegos de igual diseño y aparente menor calidad por 64 \$/juego. ¿Será conveniente seguir utilizando las llaves de A o se deberá cambiar a las de B?

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

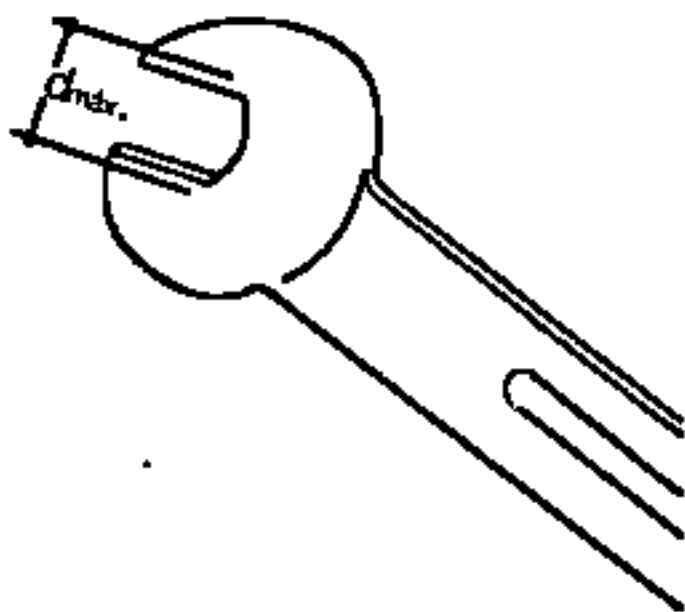
Paso 1: Se recurre a control de calidad para realizar pruebas de desgaste en iguales herramientas de los diferentes fabricantes obteniendo los siguientes resultados:

Herramienta	Proveedor	Desgaste después de 150 hrs. de trabajo efectivo
Importada	A	$d_A = 2.2 \%$
Nacional	B	$d_B = 2.2 \%$

Con esta prueba se concluye que una llave importada dura 6,818 horas de trabajo efectivo mientras que una llave nacional dura sólo 4,829 horas.

Paso 2: Con los datos de desgaste se obtiene la relación de vida útil entre ambas herramientas.

$$\frac{d_A}{d_B} = \frac{V_B}{V_A} = 0.71$$



Si se considera sólo este criterio, la herramienta a elegir sería la importada, ya que su duración es de 41% mayor que la nacional.

Paso 3: El segundo criterio a considerar para la elección del proveedor es la relación de precios entre ambas herramientas.

$$\frac{P_B}{P_A} = 0.615$$

Si se tuviese en cuenta sólo este criterio, la herramienta a elegir sería la nacional, ya que su costo es 61.5% del precio de la importada.

Paso 4: El método de la vida útil consiste en tomar en cuenta ambos criterios: precio y duración, y elegir la alternativa que combinando estos factores resulte más económica.

Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$\Delta U (\$/\text{año}) = G_A (\$/\text{año}) \left(1 - \frac{P_B/P_A}{V_B/V_A}\right)$$

donde:

ΔU	:	Ganancia o pérdida del posible reemplazo
G_A	:	Gasto anual por el consumo de las herramientas actualmente utilizadas
P_B/P_A	:	Relación de precios
V_B/V_A	:	Relación de vidas útiles

$$\Delta U = 9600 \left(1 - \frac{0.615}{0.71}\right) = 1300 \$/\text{año}$$

Se concluye que el reemplazo de las llaves importadas A por las nacionales B brindarán a la empresa un ahorro de 1,300 \$/año.

Observación: Deberá informarse a los usuarios de planta de los beneficios resultantes del reemplazo por cuanto en caso contrario las quejas por la menor calidad, ante el desconocimiento de causa, serán evidentes.

Evaluación de ofertas. Descuentos por cantidad

Utilización	Mientras que el costo de adquisición puede hacerse atractivo con la compra por cantidad, el costo de posesión crece con ella, siendo importante ponderar sus pros y contras.
Teoría	Gestión de stocks.
Bibliografía	MIZE, J. <i>Planificación y control de operaciones</i> . Bogotá: Prentice Hall, 1973, p. 151. YOUNG OLIVER, J.C. <i>Política de adquisiciones y gestión de stocks</i> . Buenos Aires: El Ateneo, 1972, p. 80.
Modelo práctico	La oficina de Ingeniería de una empresa minera ha estimado a solicitud de la División Logística la demanda anual proyectada de un artículo de consumo de su planta concentradora, el ítem código 4114(forros para molino), como $D = 175.2$ ton.

El proveedor ha ofrecido a la oficina de Compras, efectuar una importante reducción del precio unitario si en lugar de adquirir el artículo con periodicidad mensual, se le adquiere con periodicidad trimestral.

El costo unitario del lote adquirido el mes anterior ($j-1$) fue de 4.33 \$/kgr, siendo entonces el índice de precios al consumidor $I_{j-1} = 837$.

La oficina de Compras opina que la propuesta es de interés, entre otras razones porque el costo de pedido (k) utilizado en forma general para todas las adquisiciones locales está subestimado para artículos como el 4114.

Se pregunta cuál es el porcentaje de descuento mínimo esperado.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Se actualiza el costo del artículo puesto en almacén, considerando para ello el I_j . Como la pérdida del poder adquisitivo de la moneda proyectada para el mes es de 0.46%:

$$I_j = (1 + 0.0046) I_{j-1} = 841$$

$$b = 4.33 \frac{841}{837} = 4.35 \text{ \$ / Kg}$$

Paso 2: Se revisa el costo de pedido (K) y sus efectos sobre el costo de gestión de stocks.

Las fórmulas de Camps: $q_e = \sqrt{\frac{2K\bar{c}}{bP}}$ y $p_e = \sqrt{\frac{2K}{bP\bar{c}}}$ tienen dos propiedades importantes:

1. No son afectadas por la inflación al utilizar valores del costo de pedido (K) y costo unitario del artículo (b) de iguales fechas.
 Resulta importante para una eficiente administración logística contar con valores actualizados mediante indexación.
 El valor de b es puesto en el almacén (costo y flete).

$P = \text{gasto/inventario} + K \approx 25\%$ considera gastos e inventarios de un mismo período y una tasa de costo de capital (K) real y no nominal.

2. Los errores de apreciación de K y P no afectan mayormente a los valores obtenidos según puede demostrarse:

Si los verdaderos valores del costo de pedido y de la constante de Parrish fueran:

$$K_v = XK \text{ y } P_v = YP, \text{ entonces } p_{e_v} = \sqrt{\frac{2XK}{bYP\bar{c}}} = p_e \sqrt{\frac{X}{Y}}$$

y el costo de gestión de stock $Z_v = WZ$ donde

$$W = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{X}{Y}} + \sqrt{\frac{Y}{X}} \right] \geq 1$$

Que será $W = 1$ cuando $X = Y$

Si se cree que el costo de pedido $K = 17\$$ es incorrecto para su aplicación generalizada a todos los artículos de procedencia local y se estima que para ítems como los "forros" para molinos debería utilizarse un costo 100% mayor $K_v = 2 \times 17 = 34\$$

$$W = \frac{1}{2} \left[\sqrt{2} + \sqrt{\frac{1}{2}} \right] = 1.06$$

Esto quiere decir que un error de apreciación de 100% en el cálculo de K sólo afecta un 6% en la apreciación del costo de gestión de stock.

Paso 3: Se calcula el costo anual incurrirle por adquisición y gestión.

$$T = bD + nK + \frac{1}{2}RbP =$$

$$= 4.35 \times 175200 + 12 \times 34 + \frac{1}{2} \times \frac{175200}{12} \times 4.35 \times 0.25 = 770467 \$/\text{año}$$

Paso 4: Se calcula el descuento mínimo que debería ofrecer el proveedor para que su propuesta resulte económicamente aceptable (quizás financieramente no lo sea).

El costo anual debe resultar $T' \leq 770467$ siendo ahora $n = 4$ pedidos/año y $R' = \frac{175200}{4} \text{ kgr}$

$$T' = (1 - d)bD + n'K + \frac{1}{2}R'(1 - d)bP \leq T$$

Resultando $d_{\min} = 2\%$ es decir $b \leq 4.35 (1 - 0.02) \approx 4.27 \$/u$.

Procedimientos logísticos. Diagrama de banderas, ordinogramas y escritura lógica condensada

Utilización	Los voluminosos procedimientos, redactados en prosa o por <i>rol-play</i> , han dejado de utilizarse en aras de la eficiencia que se logra mediante instrucciones concisas, diagramadas o escritas en forma sumaria, de modo tal de impedir la confusión del fin con los medios y permitir una delegación de autoridad acompañada de la mayor autonomía de decisiones posible.
Teoría	Políticas y procedimientos.
Bibliografía	LA TORRE, J.L. <i>Lógica de las decisiones logísticas</i> .
Modelo práctico	La División Logística de una empresa administra las existencias de más de 21,000 artículos.

La reposición de cerca de 2,000 de esos ítems se realiza en forma automática, cuando sus niveles de inventario descienden por debajo de los puntos de pedido, solicitándose cotizaciones y colocándose órdenes de compra individualmente por cantidades constantes ($R=cte / p=var$).

Para los restantes 19,000 artículos se han conformado bloques familiares cuya reposición se efectúa con periodicidad constante ($R=var/p=cte$) según un calendario de reaprovisionamiento, observando en las fechas señaladas los saldos en almacenes para definir las cantidades a adquirir de los ítems incluidos en los bloques correspondientes.

Se desea establecer un reglamento de adquisiciones según el consumo anual valorado de los artículos ($R=cte/p=var$) y bloques de artículos ($R=var/p=cte$).

Consumo anual valorado	Modalidad de compra
menos de 1000 \$	Adjudicación directa
de 1000 a 20000 \$	Concurso de precios
más de 20000	Licitación pública

Al imprimir el ordenador la información semanal de las reposiciones necesarias, ya sean las mismas de un artículo administrado por $R=cte/p=var$ o de un bloque administrado por $R=var/p=cte$, si el consumo anual valorado resultase inferior a 1,000 \$ la orden de compra (O/C) se podrá adjudicar directamente al proveedor habitual, o se efectuará un concurso de precios entre los fabricantes y distribuidores inscritos en el registro de proveedores de la empresa. En caso de que el consumo esté comprendido entre 1,000 y 20,000 \$, el concurso de precios será obligatorio.

Los pedidos de suministro (P/S) en los cuales el consumo anual valorado supere los 20,000 \$ serán trasladados al Comité de Adjudicaciones conformado por los ejecutivos designados por la Gerencia General, Finanzas, Ingeniería, Producción y Logística.

Este Comité:

1. Solicitará si es necesario el expediente técnico a Ingeniería y preparará, siguiendo las pautas del modelo de la Asesoría Legal, las bases del concurso.
2. Definirá los factores a utilizarse en la evaluación de ofertas y sus ponderaciones y los incluirá en los términos de referencia que se entregarán a los postores.
3. Convocará a licitación pública, presidirá los actos de consultas y apertura de sobres, calificará las propuestas y otorgará la buena pro.
4. Anulará o declarará desierto el concurso cuando haya lugar a ello y convocará, si así ocurre, a una nueva licitación.

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

El procedimiento de "consignas sumarias" puede presentarse según convenga como:

1. Diagrama de banderas
2. Ordinogramas (Flow-Sheet)
3. Escritura lógica condensada

1. Diagrama de banderas:

Paso 1: Se prepara una lista de *acciones y condiciones* y sus abreviaturas en itálicas mayúsculas y minúsculas respectivamente.

Acciones y condiciones

Recepción por compras de pedido de suministros P/S
 Observar si el consumo anual valorado es menor a \$20,000
 Observar si el consumo anual valorado es menor a \$1,000
 Adjudicación directa al proveedor habitual
 Concurso de precios entre proveedores registrados
 Traslado a comité de adjudicaciones
 Preparación de documentación para licitación
 Convocatoria a licitación pública
 Evaluación de ofertas
 Otorgamiento de la buena pro
 Modificación de documentos para nueva convocatoria
 Emisión por compra de la orden de compra O/C

Abreviaturas

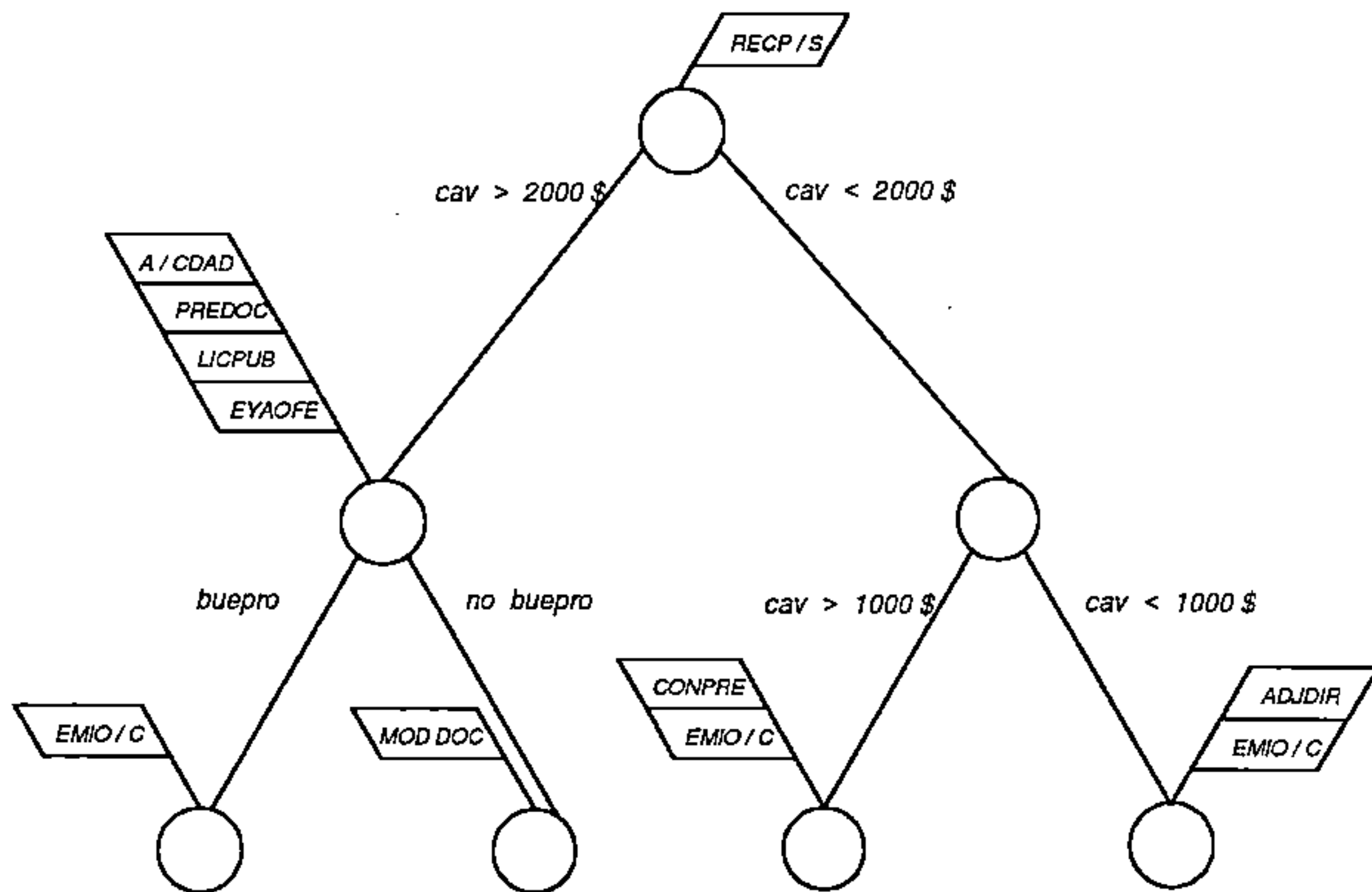
RECP/s
cav-20
cav-01
ADJDIR
CONPRE
A/COAD
PREDOC
LICPUB
EVAOFE
buepro
MODDOC
EMIO/C

Paso 2: Se confecciona una *Matriz de condiciones y acciones* sabiendo que las combinaciones posibles son 2^c , donde c = N° de condiciones en este caso 3.

		1	2	3	4	5	6	7	8
	CONDICIONES								
	<i>cav - 20</i>	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI
	<i>cav - 01</i>	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO
	<i>buepro</i>	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
ACCIONES	<i>RECP/S</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>A/COAD</i>		x	x	x			x	
	<i>PREDOC</i>		x	x	x			x	
	<i>LICPUB</i>		x	x	x			x	
	<i>MODDOC</i>				x			x	
	<i>EVAOFE</i>		x	x					
	<i>CONPRE</i>						x		x
	<i>ADJDIR</i>	x				x			
	<i>EMIO/C</i>	x	x	x		x	x		x

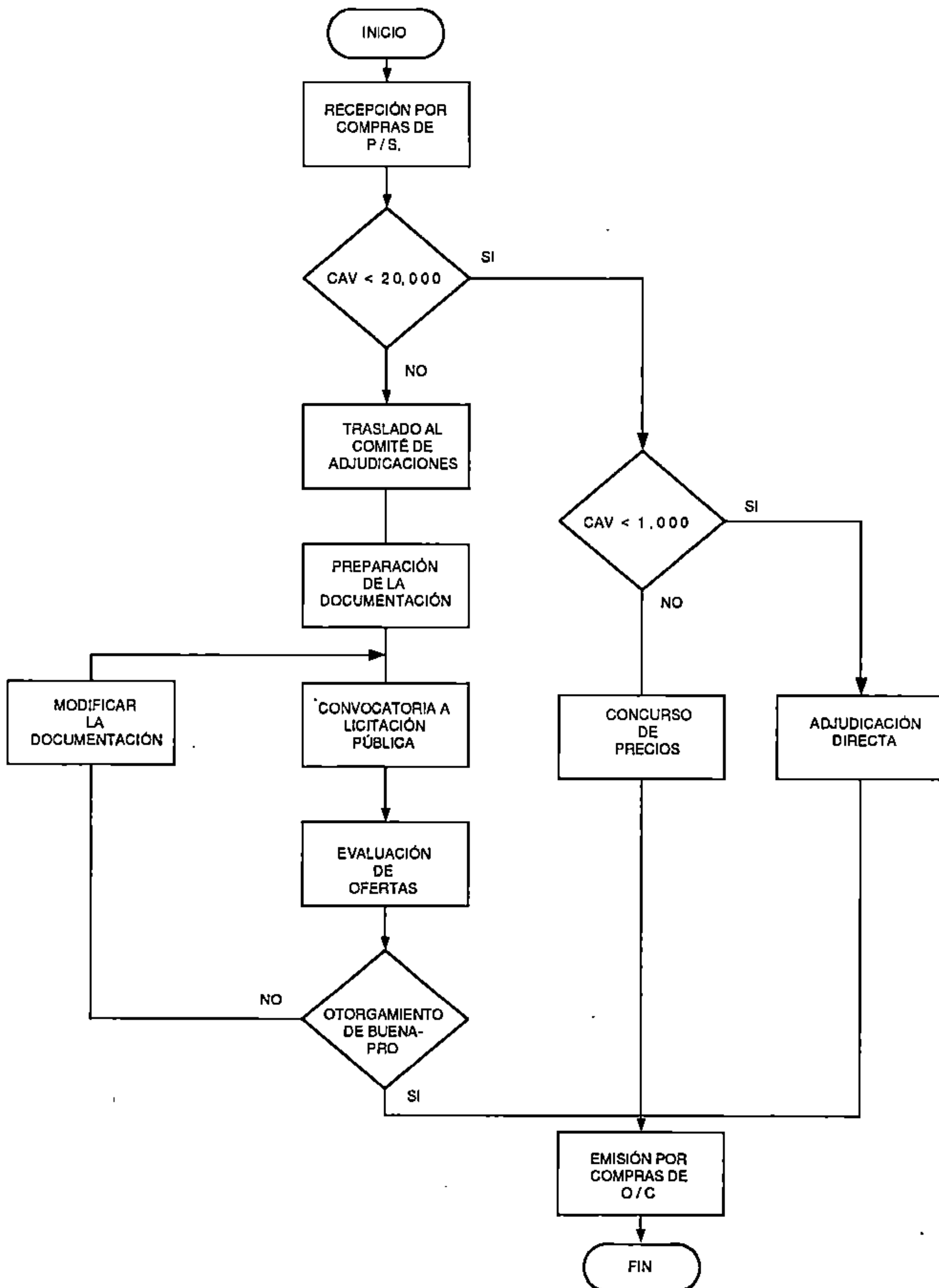
Se pudo confeccionar una matriz simplificada eliminando las columnas 2, 5, 6 y 7.

Paso 3: Se confecciona el diagrama de banderas, donde los arcos de bifurcación representan condiciones (sí o no) y las banderas las sucesivas acciones.



B. Ordinogramas

Se presenta el procedimiento en forma similar a los "flow sheet" utilizados en el análisis de sistemas, haciendo uso de rombos como "diamantes de decisión" y de rectángulos para cada "instrucción".



C. Escritura lógica condensada

Para redactar un procedimiento con "escritura lógica condensada" los pasos son:

Paso 1: Preparar la lista de acciones y condiciones.

Paso 2: Confeccionar la matriz de condiciones y acciones.

Paso 3: Diseñar el ordinograma.

Paso 4: Redactar el procedimiento, para lo cual se hace uso de las siguientes conjunciones:

Cuando
Entonces
Luego
No
Si
Simultáneamente
Y

Procedimiento

		Procedimiento
1.	CUANDO	se recepciona en compras un P/S.
2.	SI	el consumo anual valorado del artículo o el bloque solicitado es menor a 20,000 \$
3.	Y SI	es menor a 1,000 \$
4.	ENTONCES	se procederá a la adjudicación directa al proveedor habitual
5.	LUEGO	se emitirá la O/C
6.	SI	es menor a 20,000 \$
7.	Y NO	es menor a 1,000 \$
8.	ENTONCES	se efectuará un concurso de precios con la participación de los fabricantes y distribuidores inscritos en el Registro de Proveedores de la empresa
9.	LUEGO	se emitirá la O/C para la oferta de más bajo precio
10.	SI NO	es menor a 20,000 \$
11.	ENTONCES	se trasladará el P/S al Comité de Adjudicaciones
12.	LUEGO	se preparará la documentación necesaria para la licitación
13.	LUEGO	se convocará a licitación pública
14.	LUEGO	se evaluarán las ofertas
15.	Y SI	se otorga la buena pro
16.	ENTONCES	emitirá la O/C
17.	SI NO	se otorga la buena pro
18.	ENTONCES	se modificarán los documentos
19.	LUEGO	se convocará a una nueva licitación (bucle al paso 13)

Análisis de valor como función de compras

Utilización

Chompsnge

Todo lo que se produce o compra obedece a un propósito, su *función*, satisfaciendo necesidades o deseos.

El concepto de *valor* de un producto (materia prima, pieza, conjunto, sistema o servicio) es subjetivo. Se mide por el grado de satisfacción que provoca poseerlo. Se reconocen cuatro tipos de valor:

Valor de uso

Propiedades y cualidades que hacen a un producto útil y práctico para cumplir una función.

Valor de estima

Características y atractivos que impulsan el deseo de posesión de un producto.

Valor de costo

Preferencia de productos que satisfacen la función requerida por un precio menor.

Valor de Intercambio

Poder de adquisición que la posesión de un producto puede conferir en operaciones de trueque.

El análisis de valor es la aplicación organizada y sistemática de técnicas que permiten:

1. Identificar la función requerida
2. Satisfacerla mediante un producto valioso

La designación de un Comité de Análisis de Valor constituido por representantes de Diseño, Costos, Producción y Compras, dedicando cuatro horas semanales a sus reuniones con proveedores y especialistas invitados puede permitir logros muy satisfactorios.

En una primera sesión se define una o más funciones de interés para el *value-engineering*. Cada función debe definirse clara y concisamente.

Los miembros del Comité, existiendo una semana de por medio hasta la siguiente sesión, recurriendo a su propia *creatividad*, observando lo que el mercado ofrece y buscando sugerencias de terceros, preparan sus *listados individuales* de ideas de interés para satisfacer la función.

En la segunda sesión se hace uso del *brainstorming*, recibéndose una "lluvia de ideas", evitando la crítica inmediata (principio del juicio diferido), procediéndose a la evaluación por comparación y a la generación de nuevas alternativas, combinación y perfeccionamiento.

En una tercera sesión, con otra semana de por medio, se efectúa la elección del producto que satisfará la función aportando el máximo valor, haciéndose para ello muestras, estimados de costos y sondeos de opinión.

Teoría Análisis de valor (Value Analysis)

Bibliografía MILES, L. *Análisis del valor*. Bilbao: Deusto, 1970, p. 259.

Modelo práctico Una planta procesadora desea reemplazar la botella de vidrio de litro que convencionalmente ha utilizado durante años para el envasado de leche fresca pasteurizada, por las dificultades y costos que origina:

- Lavado y esterilización
- Rajaduras y roturas
- Recuperación de botellas usadas
- Reposición

ALGORITMO DE RESOLUCIÓN

Paso 1: Designar un responsable para la aplicación en la empresa de la técnica. Por su relación con los proveedores, el análisis de valor suele asignarse a Compras.

Paso 2: Ante un pedido, identificar la función básica a satisfacer (en la forma más concisa posible).

Envase de leche fresca para el recorrido planta pasteurizadora refrigeradora del consumidor.

Paso 3: Conformar un comité ad hoc para el caso:

- 1 representante de Compras
- 1 representante de Producción
- 1 representante de Ventas

Invitados:

Representantes de la Gerencia General, Finanzas y almacenes

Proveedores de envases de vidrio, plástico, cartón y metal

Transportistas y encargados del manipuleo en supermercados

Paso 4: Definir los valores. Para el caso:

1. *Economía.* Diferencia de costos. Mayor valor de costo para la leche pasteurizada de menor precio por litro al público (es un artículo de pan llevar).
2. *Fugas.* Quebraduras, rajaduras y perforaciones afectan, reduciendo el valor de estima del producto.
3. *Acidez.* Tiempo de consumo de la unidad de expendio (litro o galón), forma de conservación (cerrado o abierto) y lugar (en refrigeradora o fuera de ella) afectan al valor de uso.
4. *Suministro.* Posibilidad de adquisición del envase en las cantidades requeridas o disponibilidad de materia prima para su producción, influyen en el valor de estima de los encargados de la planta procesadora.
5. *Devolución.* Envases no retornables y desechables son más estimados que envases retornables por consumidores, distribuidores y procesadores. Alguna utilización de los envases una vez vacíos aumentan su valor de estima.
6. *Manipuleo.* Envases fáciles de transportar y almacenar son más valiosos que aquéllos difíciles de apilar o que requieren cuidado en su movimiento y traslado.
7. *Esterilizado.* Un fácil esterilizado de los recipientes en el proceso de envasado aséptico por radiación vs. un baño con agua oxigenada concentrada y en caliente es evaluado favorablemente.
8. *Presentación.* Color, forma, aspecto de solidez, estética, estimulan la demanda.
9. *Sabor.* El paso de la luz provoca la pérdida de sabor de la leche reduciendo su valor de estima.

Paso 5: Generar alternativas. Para el caso, observando qué tipos de envases de leche fresca se utilizan en el mundo, qué nos ofrece el mercado local y la experiencia de plantas productoras de gaseosas y cerveza:

- 1 Botella cilíndrica de vidrio incoloro, recuperable, de 1 litro (actual)
- 2 Botella cilíndrica de vidrio marrón, no recuperable, de 1 litro
- 3 Tarro cilíndrico de hojalata de 1 litro
- 4 Botella cilíndrica de polietileno, opaca, de 1 litro
- 5 Galonera con asa cúbica, de polietileno, opaca de 3.785 litros
- 6 Bolsa de polietileno translúcida, de 1 litro
- 7 Bolsa de polipropileno negro, de 1 litro
- 8 Bolsa de polivinilo gris y polipropileno negro coextrudados, de 1 litro
- 9 Tetraedro de cartón impermeabilizado, de una pinta imperial (0.568 litros)
- 10 Paralelepípedo de base cuadrada de cartón impermeabilizado, de 1 litro

Paso 6: Evaluación de las alternativas. Para el caso:

Sugerencias	Costo (c / litro)	Valor de costo (*)
1 Botella actual	42,20	4
2 Botella no retornable	40,90	6
3 Lata	44,60	2
4 Botella de plástico	36,90	10
5 Galonera	34,30	12
6 Bolsa plástica	30,40	16
7 Bolsa negra	31,20	15
8 Bolsa coextrudada	34,10	12
9 Tetraedro de cartón	40,50	6
10 Paralelepípedo de cartón	37,90	9

* Utilizando una escala de valor de costo del 0 (46,50 c/litro) al 20 (el costo de un litro de leche sin envase 26.50c.)

Pero no sólo la economía (valor de costo) debe ser considerada, sino también los otros aspectos, estableciéndose previamente una ponderación consensual.

Factores	Ponderación	Sugerencias									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30	4	6	2	10	12	6	15	12	6	9
2	15	3	3	18	14	14	7	7	10	11	12
3	15	11	15	5	15	15	2	2	2	2	12
4	10	15	11	8	12	12	18	18	6	10	10
5	10	8	14	9	11	19	3	4	1	0	0
6	5	5	5	12	10	15	8	8	10	11	12
7	5	3	10	12	10	10	15	15	15	12	12
8	5	10	14	15	14	18	8	5	8	12	15
9	5	5	15	18	13	13	6	15	15	16	16
	100										

Consecuentemente, habiendo hecho uso en la evaluación de una escala de valores 0-20 el resultado es el siguiente:

Orden de mérito	Sugerencia	Valor
1	5 - Galonera	13.85*
2	4 - Botella de plástico	12,00
3	6 - Bolsa translúcida	10,10

$$\text{Nota(*)} = \frac{12 \times 30 + 14 \times 15 + 15 \times 15 + 12 \times 10 + 19 \times 10 + 15 \times 5 + 10 \times 5 + 18 \times 5 + 13 \times 5}{100} = 13.85$$

Por lo tanto, para satisfacer la función se escoge la galonera con asa cúbica de polietileno opaca de 3,785 litros.

Índice alfabético

Abacos, 193
Acciones, 389
Achiote, 187, 269
Actividad ficticia (dummy), 96
Actividades disponibles, 133
Actividades en conflicto, 104
Activo corriente, 303
Activo no corriente, 303
Actualización de costos, 383
Adquisiciones, 329, 343
Agrupamiento familiar, 344
Ajuste del nivel de actividad, 183
Almacén de montaje, 364
Almacén de productos terminados, 349, 357
Almacén de ventas, 349
Alpaca, 349
Amortización, 111
Análisis adimensional, 373
Análisis de valor, 393
Archivo de órdenes de trabajo, 320
Archivo de productos, 318
Arcus A., 127, 132
Artefactos para el hogar, 289
Artículos críticos, 342
Artículos importados, 345
Artificio, 43
Asignación a costo mínimo, 251
Asignación de pedidos a máquinas, 217, 230, 251
Asistencia social, 293
Atascos, 364
Ausentismo, 293
Avalúo, 301
Avance acelerado, 91
Avance máximo, 91
Avance normal, 91
Averías, 293
Balance de materiales, 273
Balanceo de línea, 127, 361

Balones de gas, 29, 252
Banco de datos para proyectos, 42
Baquelita, 193
Baricentros de las actividades, 88
Bases del concurso, 388
Batches, 279
Baumol & Wolfe, 47
Beneficios sociales, 309
Bixina, 187, 269
Bloques, 345
Brainstorming, 394
Bridgeman P.W., 373
Buena pro, 373, 377, 388
Busacker & Gowen, 261, 262
Caballote, 370
Cadencia, 129, 141
Calcina, 279
Calendario de reaprovisionamiento, 339, 343, 387
Calificación de factores ponderados, 373
Campana de Gauss, 182
Campaña, 175
Camps-Fórmula de, 131, 339, 384
Cantidad a reponer, 339, 347
Capacidad de procesamiento, 277
Capacidad de producción, 277
Capacidad instalada, 277
Capacitación, 293
Capital social, 307
Carga de máquinas, 213, 217, 223
Carga de trabajo ("back-log"), 306
Cargas financieras, 113
Carrol D.C.-Algoritmo de, 213
Carruseles, 136
Cartel (kanban), 363
Cartel de producción, 364
Cartel de producción por lotes, 364
Cartel de transporte, 364
Cartera, 227
Casillero, 368, 369
Celdas electrolíticas, 279
Cemento, 183
Centro de engorde-camal-frigorífico, 47
Centros productivos, 304

Chaise-longues, 364
Circuito metalúrgico de cinc, 279
Clasificación ABC, 335
Clavos, 218, 223
Cobre, 335
Cocinas, 357
Codificación, 346
Coeficiente de interferencia, 194
Comisiones, 111
Comité de adjudicaciones, 374, 377, 388
Comité de análisis de valor, 393
Compras, 383
Concentración por flotación, 343
Concentrados, 279
Concurso de precios, 388
Confiabilidad, 139
Congeladoras, 139
Conglomerado prensado, 153
Consignas sumarias, 388
Consumo anual valorado, 389
Contabilidad de costos, 301
Contabilidad industrial, 301
Contenedores, 370
Contribución de la demanda mensual, 144, 357
Control de avance, 283
Control de calidad, 289, 297, 381
Control de tareas, 319
Control por excepción, 288
Convertidora de papeles, 251
Costo de adquisición, 383
Costo de agotamiento, 336
Costo de almacenaje, 338
Costo de capital, 110
Costo de cola, 209
Costo de depreciación, 254
Costo de energía eléctrica, 254
Costo de gestión de stock, 350, 384
Costo de mano de obra, 254
Costo de mantenimiento, 254
Costo de materiales, 254
Costo de obsolescencia, 338
Costo de pedido, 336
Costo de posesión, 336, 338

Costo del cambio, 139
Costo del préstamo, 112
Costo ponderado de capital, 109, 114
Costos directos, 315
Costos horarios, 253, 301, 302, 304
Costos unitarios, 253, 383
Cotas inferiores, 232
Cotizaciones, 301, 308
Covert, regla de, 213, 214
CPM, 91
Crash, 183
Creatividad, 394
Crecimiento demográfico, 153
Critical Path, 99
Crítico, 340
Cronograma, 106
Cronograma de ejecución del proyecto, 87
Cronogramas de inversión, 83
CRP, 333
Cuadrilla de trabajo, 273
Cuello de botella, 136
Cursor de control, 284
Curva 'S', 33, 83
Curva de saturación de mercado, 29
D.J. Clough, modelo de, 187
Dantzing, 119
Data, 295
Defectuosas, 55
Deficiencias administrativas, 293
Deficiencia de diseño, 293
Deficiencia de los operarios, 293
Delfos, 175
Demanda aparente, 182
Demanda global, 182, 40
Demanda histórica, 154
Demanda insatisfecha, 50
Demanda latente, 31
Demanda per cápita, 29
Demanda potencial, 29
Demanda pronosticada, 359
Demanda real, 359, 167
Demanda teórica, 167
Demanda violenta, 141, 184

Desabastecimiento, 293
Descuento, 385
Desgaste, 381
Despiece, 327
Deuda, 112, 303
Diagrama de avance, 281
Diagrama de circulación, 371
Diagrama de dientes de Sierra-Davis, 369
Diagrama de estructura, 332
Diagrama de flujo, 271
Diagrama de objetivos de producción, 280
Diagrama de operaciones del proceso (DOP), 273
Diagrama de ordenamiento, 280
Diagrama interrelacional de actividades, 106
Diagrama triangular, 80
Diagrama de acoplamiento, 328
Diagramas de actividades múltiples, 269
Diagramas de banderas, 387
Diagramas de barras, 249
Diagrama de equilibrio, 74
Diagramas multiproductos, 246
Diamantes de decisión, 390
Disocianato de tolueno, 373
Disposición detallada, 75
Disposición general, 75
Distribución de Poisson, 68, 349
Distribución en planta, 75
Distribución normal, 178
Dolo, 293
Dominación, principio de la, 238, 239
Economía de escala, 43
Eficacia, 287
Eficiencia, 287
Eficiencia esperada, 141, 148, 283
Eficiencia nominal de la maquinaria, 296
Eficiencia real, 285
Elaboración por terceros, 73
Elaboración urgente, secuencia gráfica, 245
Elaboraciones, 329
Elasticidad, 169
Embotellamiento, 364
Enjambres de máquina, 197
Entregas escalonadas, 370

Entrenamiento, 293
Envases, 395
EOQ, 131
Errores de apreciación, 384
Escala, 81
Escala de calificación, 374
Escala de valores, 397
Escala móvil, 359
Escalamiento de costos, 87
Escritura lógica condensada, 387
Eslabones, 75
Esmaltado, 289
Especificaciones técnicas, 319
Esperados, 290
Espuma flexible de poliuretano, 373
Esquema financiero, 89
Estaciones, 130
Estampado, 55
Estandarización, 295
Estudio de preinversión, 84
Etiquetar, 263
Evaluación de ofertas, 373
Evaluación de ofertas-descuentos por cantidad, 383
Evaluación de propuestas, 377
Evaluación de propuestas-método de vida útil, 381
Evento, 96
Expediente técnico, 388
Extensión, 284
Extracosto, 315
Extracción a tajo abierto, 343
Fabricaciones a pedido, 301, 311
Factor de descuento, 110
Factor de uso de la maquinaria, 56, 290, 295
Factores de producción, 287
Factores ponderados-calificación por, 373
Factores predominantes, 373
Factores que condicionan la demanda, 29
Fajas transportadoras, 127
Fecha de iniciación normal, 215
Fecha de iniciación urgente, 214, 215
FIFO, 214, 246
Filter Cake, 270
Filtro-prensa, 270, 273

Financiamiento integral, 377
Flow-Sheet, 271, 388
Flujo de caja, 340
Flujo de fondos descontado, 377
Flujo de producción, 261
Follow-up, 284
Forma de pago, 302
Fórmica, 37
Forros para molinos, 338, 348, 383, 384
Fuerza mayor, 293
Función, 393
Función de densidad, 58
Función de distribución, 58
Función objetivo o funcional, 120
Fundición, 377
Gama, 218
Ganancias incrementales, 181
Gantt, diagramas de, 87, 99, 105, 241, 246, 273, 283, 367
Gastos generales, 309
Gastos reembolsables, 310
Gerencia por objetivos, 289
Gerencia por resultados, 288
Gestión de compras, 343
Gestión de stocks, 335, 343
Gompertz, 29, 32, 89
Goldratt E., 363
Gozinto, 325, 329
Grado de penetración, 183,
Gráfica de control, 359
Grafo sagital, 86, 95, 102, 312
Grifo, 92
Hardware, 175
Helgeson & Birnie, 127
Herramientas, 381
Histograma, 197
Hojas de ruta, 78, 228, 318
Holgura, 99, 214, 215
Holgura libre, 99
Holgura total, 99
Horas disponibles, 57, 221, 295
Horas hombre, 302
Horas necesarias, 150
Horas nominales, 296

Horas operativo, 295
Horas posibles, 295
Horas teóricas, 296
Horneado, 210
Horno de inducción, 279
Horno de secado, 273
Ignall Scharge & Lomnicki, 227
Improductividad, 140
Impuesto a la Renta, 110
Impuesto a las ventas, 308
Incentivos, 285, 293
Incertidumbre, 176
Indexar, 307
Indicador (index), 217, 219
Indicadores, 297
Índice de precios al consumidor, 383
Índice de prioridad, 215
Industrias monolineales, 183
Inecuaciones, 120
Inflación, 111, 307
Instrucciones, 387, 390
Interés, 111
Interés nominal, 112
Interés real, 111
Iteración, 162, 234, 265
Juego de los stocks, 147, 361
Juguetes, 107
Justiprecio de alquiler, 301
Justo a tiempo JIT, 139, 363, 366
Kanban-carteles, 363
Kárdex, 186, 335
Kárdex administrativo, 336
Labor, 289
Layout, 245
Leche fresca pasteurizada, 394
Legrande E., 214
Libor, 111
Licitación pública, 377, 388
Límite de error, 61
Límites de control, 359
Línea blanca, 139
Línea de balance, 281
Línea de balance (LOB), 279

Línea de montaje, 149
Línea multiproducto, 131
Lista de materiales BOM, 328
Litargirio, 41
Little, algoritmo de, 251
Llaves fijas de quijada, 381
Localización, 47, 375
Logística, 335, 343, 387
Lote económico (EOQ), 131, 366
Lucro cesante, 67, 139, 340
Macrolocalización, 375
Maestranza, 283
Magee, 181
Magnitud de desplazamiento, 79
Manpower, 78, 290
Mantenimiento, 293
Manufactura flexible, 364
Máquina ficticia, 242
Máquina de reserva, 67
Margen de utilidad sobre ventas, 288
Mastor, 127
Matricería, 76, 245
Matriz, 229
Matriz de condiciones y acciones, 389
Matriz de costo de oportunidad, 178
Matriz de utilidades, 177
Matriz insumo producto, 24, 329
Maximax, 176, 177
Maximin, 176, 177
Método del período óptimo, 37
Mermas, 296
Mermeladas, 227
Metalmecánica, 261
Método 1-2-3, 349
Método de comparación de resultados múltiples, 373
Método de generación de Box-Müller, 63
Método de nivelación, 184
Método del indicador, 217
Método de período óptimo, 37
Método determinístico, 350
Método MIM, 223
Método probabilístico, 350
Método probabilístico Pert, 311

Métodos de asignación de recursos 'MAR', 101

Minimax, 177

Mínimos cuadros, 43

Mínimos lamentos, 177

Mix de producción, 78, 119

Modalidad de compra, 388,

Modelo determinístico, 56

Modelo probabilístico, 57

Moldeado, 210

Molinera, 213

Molino de martillos, 271

Montajes, 329

Montacargas, 81

Montecarlo, simulación de, 197

Movimiento de tierra, 101

MPS, 150, 333

MRP y MRP II, 333

Muebles metálicos, 364

Nanot Y., 214

Niquelado, 370

Nivel de actividad, 175, 183, 302, 306

Nivel de confianza, 61, 139, 198

Nivel de inventario Z, 347

Nivel óptimo de inventario, 350, 355

Niveles de servicio, 342

Nivelación, 184

Nodo, 96

Normas, 296

Nota de ingreso, 321

Nube de puntos, 157

Números al azar ("Random"), 198

Obreros indirectos, 65

Obstáculos, 249

Ofertas de proveedores, 374

Ojaladora, 301

Operaciones solapables, 273

Operarios, 193

OPT, 363, 364

Orden de mérito, 375, 397

Órdenes de compra, 325, 375

Órdenes de materiales, 319

Órdenes de trabajo, 245, 283, 325

Ordinogramas, 387

Palanqueo financiero, 109, 111
Paquetes financieros, 84
Paquetes tecnológicos, 84
Pareto, V. 335, 339, 345
Paro operario, 295
Paro vario, 295
Paros industriales, 295
Parrish, constante de, 384
Partes de producción, 320
Pasillos, 81
Patrimonio, 112
Pearson, 157
Pedido, 318
Pedidos de suministro, 325, 347, 388
Pedidos en firme, 363
Penalizaciones por mora, 311
Penalización, 256
Periodicidad, 345, 354, 383
Periodicidad de aprovisionamiento, 336, 345
Periodicidad de reposición, 349
Periodicidad económica, 345
Período de gracia, 379
Período de maduración de una inversión, 49
Período óptimo, 354
Período estándar, 248, 283
Pernos, 311
Pert, 91
Pert-costo, 311
Pivote, 122
Plan de producción, 184
Plan de ventas, 145
Planeación agregada, 147
Planeamiento de la producción, 143
Planeamiento financiero, 343
Plant Layout, 75
Planta concentradora, 336
Plantilla, 76
Plazo de ejecución del proyecto, 85
Plazo de entrega, 302
Plazo de tramitación, 339
Plazo de impuesto, 315
Plazo promedio de créditos concedidos, 153
Poder adquisitivo de la moneda, 383

Poisson, 349
Políticas y procedimientos, 387
Postores, 377
Precedencias, 93, 100, 128, 312
Precio óptimo, 168
Prensa inyectora, 73
Preparación de máquinas, 364
Presupuesto de precio, 302
Presupuestos industriales, 301
Pretinadora, 301
Prime-Rate, 111
Principio del juicio diferido, 394
Prioridades, 213, 319
Procedimientos, 368, 387
Procesamiento de datos, 320
Producción continua, 279,
Producción en lotes ("Batches"), 269
Productividad, 269, 287, 289
Productividad conjunta, 287
Productividad específica, 288
Producto bruto interno, 153
Programa de producción, 132, 145
Programa original, 286
Programación de trabajo, 283
Programación dinámica continua, 24
Programación dinámica discreta, 24
Programación hacia atrás, 149
Programación lineal, 119
Programa de ventas, 143
Proporción de despacho, 188
Proporción de pedido, 188
Proporción de producción, 188
Proporción de recibo, 188
Proporciones de flujo, 188
Prosa, 387
Proveedores, 345, 374, 383
Punto de pedido, 348,
Puntos clave de control, 280
Rack, 81
Ramificación y acotación, 229
Ratio inversión/tamaño, 42
Ratio insumo producto, 280,
Recuperación, 288

Reembolso, 379
Registro de órdenes de trabajo, 318
Registro de proveedores, 388
Regla FIFO, 214
Regla Sot, 224
Reglamento de adquisiciones, 387
Reglilla, 281
Regresión múltiple, 153
Regulación de stock, 357
Rehabilitación, 377
Reinfeld & Vogel, 217
Rejas, 283
Relación deuda/patrimonio, 89
Relación tamaño demanda, 37
Remalladora, 301
Rendimiento, 287
Rendimiento comercial, 296
Rentabilidad de capital, 303
Rendimiento hora máquina nominal, 296
Rendimiento hora máquina operario, 296
Rendimiento industrial, 296,
Rendimiento medio operario, 56, 290, 295
Rendimiento operario, 296
Rentabilidad, 173, 288, 304
Rentabilidad marginal de un proyecto, 288
Reporte de órdenes de trabajo, 320
Reposición automática de stocks, 143
Reprogramar, 286
Repuestos, 345
Requerimiento de personal, 145, 148, 346
Requisito de personal, 346
Requisito de maquinaria, 55
Resinas fenólicas, 210
Riesgo, 178
Ritmo de elaboración, 57
Rol de vacaciones, 150
Rol-Play, 387
Rotación del activo corriente, 288
Ruedas y garruchas, 325
Sot (Shortest Operating Time), 214
SalDOS ex fábrica, 175
Sastrería, 301
Savage, 177

Secuencia operativa, 227
Seguimiento, 320
Selección de proveedores, 381
Servicio de la deuda, 378
Set up, 57
Señal, 369
Shaffer, 101
Simogramas, 269, 277
Simplex, 119,
Simulación de Montecarlo, 58, 197
Simulación de D.J. Clough, modelo de, 187
Sistema ABC, 339
Sistema administrativo de órdenes de trabajo, 317
Sistema de producción, 187
Sistema experto, 63, 217, 318, 330, 335
SLP, 75
Sobreprecio, 341
Sobretiempos, 293
Software, 335
Soldadura, 283
Solomon, 109
Stand-by, 67
Stock de protección, 145, 336, 347
Stock final, 148
Stock inicial, 148
Stock-out, 340
Superficie de evolución, 76
Superficie estática, 76
Superficie gravitacional, 76
Tablero, 124,
Tablero de comando, 287
Tablero de hechuras a medidas y confecciones, 301
Tamaño de planta, 37
Tanque de decantación y precipitación, 270
Tanque de extracción, 270
Tanques de confrontación, 280
Tanques de lixiviación, 280
Tanques de solución impura, 280
Tardanza marginal, 215
Tareador, 319
Tareas de cuadrillas, 269
Tarifas horarias, 309

Tasa de descuento, 378
Tasa de interés equivalente, 113
Tasa de posesión de Parrish, 57, 131, 338
Tasa interna de retorno (TIR), 113
Técnica ordenadores-posiciones ponderadas, 129
Telares, 67
Teoría de colas, 67, 193, 197, 245
Teoría de decisiones, 175, 373
Teoría de optimización, 223, 245
Teoría de redes, 83, 92, 127, 245, 311, 325
Teoría del pronóstico, 83, 143, 153
Términos de referencia, 374, 377, 388
Tiempo asignado, 331
Tiempo de atención, 198
Tiempo de ciclo, 129
Tiempo de espera, 214, 333
Tiempo de interferencia, 194
Tiempo de reaprovisionamiento, 339
Tiempo entre servicios, 198
Tiempo esperado, 311
Tiempo flotante, 99
Tiempo lejano, 99, 103
Tiempo manual, 193
Tiempo muerto, 135
Tiempo próximo, 98, 103
Tiempo tecnológico, 193
Tiempos acumulados, 229
Tiempos de corte y confección, 302
Tiempos límites, 315
Tiempos estándar, 55, 143, 277, 290
TOC (Theory of Constraints), 101, 104
Tolvas de almacenamiento, 279
Torneado, 370
Tostadores de cama turbulenta, 279
Trayectoria crítica, 86, 99
Triplay, 153
Tuerca ciega, 364
Urgentes, 245
Utilidades, 309
Utilización, 296
Utillaje, 294, 364
Vales de materiales, 325, 369
Valor actual neto, 113

Valor de costo, 393
Valor de estima, 393
Valor de intercambio, 393
Valor de uso, 393
Value Engineering, 393
VAN, 112, 113, 379
Variables "slack", 120
Variables artificiales, 120
Varianza, 314
Vector avance, 284
Ventiladores-ensamble de, 119
Voris, 248
Wald, 176
Wight, O. 333

Este libro se terminó de imprimir en junio de 1999
en el Departamento de Impresiones
de la Universidad de Lima