

Investigación operativa y organización

R. ARGAMENTERIA GARCIA

Catedrático de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Telecomunicación

INTRODUCCION

Si bien la Economía Política se ha concebido más como ciencia aplicable a problemas macroeconómicos que a los problemas de unidades económicas de otra índole, es lo cierto que estas últimas no viven aisladas; por el contrario, forman parte de un sistema en el que todas sus características o todas sus vivencias influyen sobre ellas. Concretamente, al referirse a la empresa, esta afirmación resulta evidente.

Por ello, la organización de la empresa tiene que amoldarse a la dinámica del sistema y aplicar todas las técnicas que se la ofrecen en orden a tal adecuación.

Este es el propósito de este trabajo, es decir, dar una síntesis de tales técnicas, ilustrándolo con estudios que evidencian lo práctico de las mismas en muy diversas facetas, pero que, en conjunto, son la investigación operativa y más concretamente el análisis secuencial, base de la vida de la empresa, en la que lo estático es prácticamente irreal.

Si la macroeconomía influye sobre los sujetos microeconómicos, no es menos cierto, a su vez, que éstos son la base y la síntesis de aquélla.

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

La planificación, en cuanto previsión de futuro, absorbe hoy la atención del hombre de empresa. No basta, en la complejidad del sistema económico actual, el conocimiento exacto del pasado, sacando unas consecuencias fruto de extrapolaciones con mayor o menor rango de desviación. La preocupación por el rendimiento adecuado a unas inversiones en factores de producción, cuyo logro, en las condiciones precisas, no se le hace fácil a la empresa, obliga a programaciones que, empleando a su total capacidad los aludidos factores, y con simultaneidad de acciones, reduzca tiempo de producción y costes, originando, en último término, un incremento de la productividad, una mayor velocidad de rotación del circulante y, en síntesis, un rendimiento superior.

Quizá sea la simultaneidad de acciones, con la secuela del empleo adecuado de los factores disponibles, la clave de la planificación, cuando esta se proyecta en el tiempo con un grado de seguridad conveniente.

Todo lo que suponga tomar decisiones con tal proyección de futuro será ampliamente valioso para la organización de una empresa. En otras palabras, es el objetivo de la investigación operativa y a tal conclusión conducen las definiciones que por diversos tratadistas se han dado: "Método científico que permite proporcionar a la dirección una base cuantitativa sobre las operaciones industriales que se encuentran bajo su gobierno", en la interpretación de Marse y Kimball:

"Base cuantitativa", terminología en cierto modo confusa, pero cuya idea de "realidad" y exactitud está en la línea del propósito de cualquier actividad organizativa.

"Método de predicción referente a las operaciones industriales, fundado en la construcción de un modelo científico que describe exactamente las operaciones y permite la predicción de las acciones futuras" (Johnson). Definición más extensa, que incluye el término "predicción", básico en una planificación que, unido a la técnica del "modelo", complementa una instrumentación sin la cual, hoy por hoy, no se puede entrar en una organización racional.

Otra definición, la de Chantal, "ciencia de preparación de decisiones", concreta, lacónica, pero sin duda la más expresiva y la más conforme con la mentalidad empresarial.

En cualquier caso, lo que se ha superado es la visión de la empresa en cuanto a su organización, como resultado de unas consideraciones empíricas, que, aun pudiendo ser en algún momento útiles y hasta necesarias, lo que no son es suficientes.

De aquí que la investigación operativa aparezca como indispensable cuando de planificar la empresa, en su conjunto, se trate.

No obstante, la cuestión fundamental a dilucidar es la amplitud en el tiempo. Ya hemos indicado que lo estático en la empresa, como en todos los fenómenos económicos, solamente suponen una base de estudio, pero la realidad nunca puede prescindir del fenómeno tiempo. Las circunstancias macroeconómicas que inciden en la microeconomía propia de una empresa pueden hacer variar los supuestos que hubieran servido de base para una planificación que hubiese tenido en cuenta solamente lo interno de la empresa. Es así distinta la aplicación a la marcha general de la empresa como unidad inmersa en el sistema económico, con una vida proyectada sin limi-

tación temporal, y el fenómeno productivo singularizado en el que, precisamente, el tiempo suele ser no sólo elemento básico, sino determinante de la acción concreta.

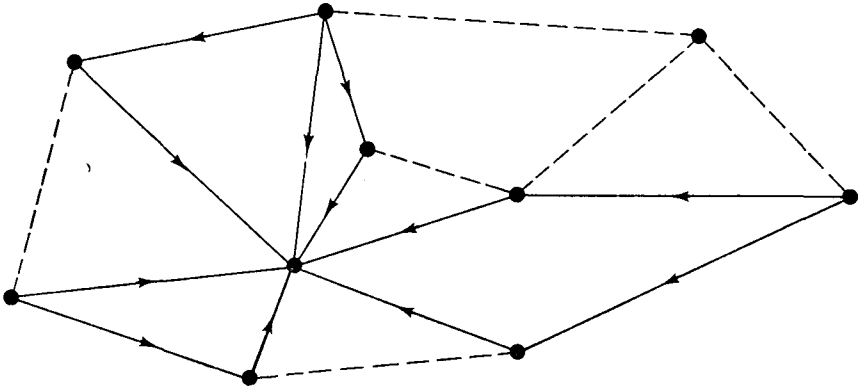
Es el aspecto dinámico lo que en verdad late en el fondo de estas cuestiones y lo que los tipifica a efectos de su diferenciación con las técnicas clásicas aplicadas a la organización. Así, la técnica de los organismos, fundamentales siempre, es esencialmente estática, aunque ellos sean válidos para la estructura de la empresa y para las relaciones, incluso jerárquicas, entre los componentes de la comunidad "empresa", que permite un engranaje perfecto y sin distinción de funciones. Su signo es prevalecer ante cualquier contingencia. Aunque indirectamente influirá en el coste e incluso en el tiempo del proceso de producción, no por ello tiene como objetivo directo reducir dicho tiempo, ni mucho menos orientar la simultaneidad de acciones o procurar decisiones que hayan de ser adoptadas en un futuro más o menos inmediato.

Igualmente sucede con otros aspectos totalmente superados en cuanto a la planificación, aunque subsisten como elementos auxiliares valiosos. Es el caso de los cuadros de trabajo en curso o los cuadros de empleo de las distintas unidades del equipo industrial. O los diagramas de proceso para acciones muy concretas.

Podría afirmarse que las cuatro manifestaciones clásicas de la organización de empresas: administrativa, económica, financiera y comercial, subsistiendo como objetivos últimos todas ellas, han quedado afectadas, y positivamente, por las técnicas de la investigación operativa, auxiliadas, eso sí, por el poderoso elemento de los ordenadores electrónicos, elemento central de una operatividad sin la cual la investigación operativa no podría desplegar todas sus posibilidades.

Así las cuestiones típicas referentes a localización industrial con las aportaciones de Weber, Thünen, Palander, Sampedro y tantos otros, son susceptibles de ser tratadas con la moderna teoría de grafos. A este respecto el trabajo de Alain Schärling: "Localisation Optimale et Theorie des Graphes", publicado en la colección Cahiers Vilfredo Pareto, de la Revue Européenne d'Histoire des Sciences Sociales, es un estudio claro que permite comprobar la exactitud de esta aplicación.

Gráficamente queda reflejado aproximadamente así:



No puede olvidarse tampoco la cuestión relativa al orden de las operaciones a efectuar cuando influyen solamente los costes y, técnicamente, hay una flexibilidad que permite jugar con el orden de las operaciones que han de ser realizadas. Si el Algebra de Boole pudo en algún momento y en relación con estas materias, considerarse de aplicación con poco rendimiento, ahora encuentra posibilidades infinitas, ya que muchos de los fenómenos tratados se mueven en el campo de los atributos: en ser o no ser, darse o no una característica, haber o no haber camino entre dos o más operaciones, sobre la base de un coste determinado, por no hacer más que una alusión genérica.

Los estudios de Kauffman, y muy concretamente en su libro "Métodos y Modelo de la Programación Dinámica", son elocuentes. Su ejemplo, tantas veces reproducido posteriormente, de nueve operaciones susceptibles de combinarse en cuanto al orden de ejecución para obtener un camino con coste mínimo, puede servir de ilustración frente a problemas de la empresa, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico. El anexo 1, que se incluye al presente trabajo, es un caso práctico suficientemente aleccionador.

El carácter secuencial de muchos problemas de la empresa es lo que más atrae hacia ella la llamada Programación Dinámica. Kauffman y Cruon señalan que se evidencia el aspecto secuencial en la "regulación de la producción y las existencias, en la administración de equipos, en las inversiones...". Es evidente que la aplicación es más frecuente en problemas secuenciales discretos en el tiempo, referidos tanto a universos deterministas como probabilistas.

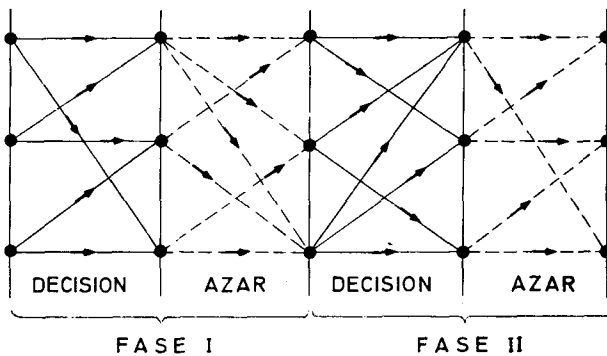
Relatar otros ejemplos de aplicación relativos a la organización de empresas sería tarea fácil dada la diversidad de facetas en que pueden manifestarse.

Como señala Desbazeille, al referirse al punto de partida de la Programación Dinámica, es decir, al llamado teorema de la optimidad de Bellmann, éste es tan simple que parece casi trivial cuando se ha profundizado a fondo. "Su importancia se acentúa tan pronto se advierte que la naturaleza de numerosos problemas económicos es secuencial, es decir, que permiten su descomposición en fases, en las cuales queda una sola dependiendo de sus más próximas, y frecuentemente en los casos más favorables, solamente de la anterior o de la posterior".

Es decir, que en esta secuencia de fases pueden intervenir variables de usar o, en general, existir elementos aleatorios que condicionan cada una de ellas. El cálculo de probabilidades va a ser imprescindible, mas ello no resta importancia al método. Dentro de ciertos límites, es posible conocer la probabilidad, ya que en microeconomía como en hechos macroeconómicos es difícil, salvo casos excepcionales, que se presenten circunstancias de forma totalmente continua. La experiencia, las series estadísticas, permiten extrapolaciones, a fin de cuentas deducciones, que dan el grado o nivel de probabilidades con márgenes de error perfectamente conocidos.

El planteamiento clásico de una serie de fases o secuencias cada una de las cuales se subdividen en dos subfases, la primera con decisiones voluntarias del agente actuante y, la segunda, como resultado del azar es explícito hasta el máximo.

Gráficamente se condensan en lo siguiente:



Como lo que se busca es pasar del estado inicial al final, interesa conocer la forma de pasar que nos proporcione el mejor resultado. Estamos en presencia de un problema de esperanza matemática.

Evidente también que cuando el número de fases es muy elevado y las posibilidades muchas, la intervención del ordenador electrónico resulta totalmente imprescindible.

Un ejemplo sencillo es el siguiente, sacado de la vida real:

En una empresa dedicada a la fabricación de material especial se trata de planificar, para un cierto período de tiempo, el proceso general de producción que, de hecho, se reduce a la fabricación de elementos básicos y a su ulterior montaje.

El citado proceso de fabricación presenta una variable real justificada por la posible recepción de las materias primas desde tres procedencias distintas, cuya determinación está subordinada a factores que a este fin son indiferentes, aun cuando, según sea una u otra la procedencia, el proceso de preparación del material puede aconsejar adscribirlo a una de las tres divisiones de fabricación existentes (denominadas 1, 2, y 3), las cuales son similares en lo que se refiere a la calidad final de los elementos producidos.

En el primer caso, es posible técnicamente adscribir dichos materiales a las divisiones 1 ó 3; en el segundo, a las 1 ó 2, y en el tercero, a las 2 ó 3.

La división 1, está dotada de unos equipos industriales que pueden ser empleados indistintamente y que en el período que se precisa, hay seguridad de que tengan averías, con la consiguiente repercusión en los costes por paralización, si bien al final, tanto utilizando una como otra, el material queda perfectamente dispuesto para el montaje.

La elección del equipo dependerá únicamente de la marcha de los trabajos en curso en cada momento, por lo que, dada la tendencia observada, hay que presuponer que es en un tercio más probable que el técnico superior responsable se decida por el equipo primero, cuyo rendimiento se puede cuantificar como de 10, aunque en el segundo el rendimiento sería de 12. Terminado el proceso de fabricación, los elementos se entregarán a los técnicos superiores encargados del montaje y que son para estos casos los denominados A y C, respectivamente.

En el caso de operar la división 2, el problema es similar, aunque sólo tiene un equipo industrial, pero de poco rendimiento y que conduce a entregar la producción al técnico de montaje C.

En la división 3, la mejor instalada, y, por tanto, la más ocupada, es posible producir de forma que los elementos son susceptibles de ser entregados a cualquiera de los tres técnicos de montaje A, B o C, si bien sus rendimientos son, respectivamente, 13, 11 y 12. El primer equipo está muy sobrecargado de trabajo, por lo que hay que presuponer que su utilización será poco probable (0,1). Los restantes están igualmente ocupados.

Los grupos de montaje tienen una problemática social conflictiva que hace variar sensiblemente el rendimiento, aunque no la calidad de las unidades finales.

Hay tres secciones que pueden llevar a cabo el montaje y que a su vez disponen, según los casos, de cadenas independientes.

Según el organigrama de la empresa, el técnico superior de montaje A puede operar con las secciones a) o c); el B, con las a) o b), y el C, con las a) o b).

De las dos cadenas de que dispone la sección a) la I tiene un rendimiento mínimo, siempre por las razones sociales anteriormente indicadas, por lo que es muy poco probable poder utilizarla regularmente. Por ello, hay un 90 por 100 de probabilidades de que los técnicos utilicen la cadena II, cuyo rendimiento se puede cifrar en 8, mientras que el de la I es de 6.

En la sección b), que tiene la cadena I, el rendimiento es de 7.

En la sección c) sus cadenas I y III tienen la misma problemática social, aunque su rendimiento está comprobado que es en la I doble que en la III, cuyo rendimiento es de 6.

La simbología I, II y III, indica las posiciones finales comunes a que conducen cada una de las cadenas, independientemente de la sección a que pertenezcan.

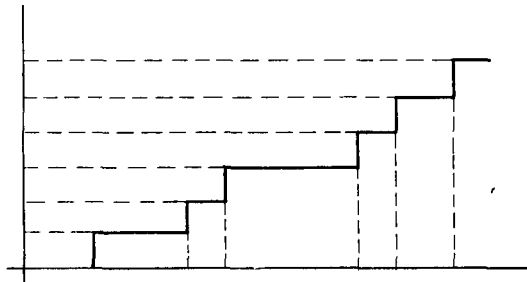
Los responsables de la fabricación y el montaje actuarán siempre atendiendo a las circunstancias reales de cada momento, dentro de la misión específica que tienen encomendada.

No menos trascendente es la teoría de las líneas de espera, fenómeno de colas, fenómeno que aparece casi como de naturaleza propia en la producción industrial, sin que por ello se reste importancia a otras actividades, y muy concretamente en el sector servicios. "El problema económico que suele ser planteado en relación con los fenómenos de espera, consiste en determinar el número óptimo de estaciones para lo cual es mínimo el coste total de espera de los clientes y el de inactividad de las estaciones. Parece, por consiguiente, esta solución como un compromiso entre el pre-

cio, algunas veces subjetivo, que se asigna a la espera en la clientela y las cargas que resultan de la mejora del servicio". De esta exposición debida a Desbazeille, fácilmente se infieren las posibilidades de aplicación a la organización de la empresa industrial o no industrial, ya que si bien "el estudio teórico de las características de las líneas de espera tiene como origen los problemas de circuitos telefónicos" (Morse) debido a la fluctuación de la demanda de servicios, se ha podido comprobar hasta qué punto es aplicable a otros muchos campos.

Tanto el estudio de las líneas de espera en circuito abierto como cerrado es prolífico. La instalación de un taller de reparaciones en una fábrica, ejemplo de circuito cerrado, creemos que no es posible abordarlo hoy científicamente, si no es mediante la aplicación de la teoría de colas. Las empresas de servicios dan muestras permanentes de estas aplicaciones, es más, los ejemplos clásicos se refieren fundamentalmente a este tipo de actividades.

El problema básico reside en llegar a determinar la ley de llegada de unidades al sistema para ser atendidas. No hay que olvidar que, salvo en casos determinados, siempre hay un elemento o variable de azar. El estudio en la práctica de la distribución de duración de las prestaciones de servicio pone de relieve que su distribución se manifiesta en líneas generales, de forma:



así como que la línea de distribución de probabilidad partirá siempre de la ordenada 1. Fácilmente se concluye que la ley casi general de aplicación es la ley de Poisson:

$$p_{\eta} = e^{-\lambda} \frac{\lambda^{\eta}}{\eta!}$$

Un planteamiento real es el correspondiente a uno de los trabajos que, como anejo 2, se incluye a continuación y que se refiere a una empresa que intenta reorganizarse sobre la idea de ser, en cuanto a fenómeno de

producción se refiere, autosuficiente. Su problema está en el gran número de reparaciones del equipo industrial con la consiguiente repercusión en costes por inactividad y disminución de capacidad de equipo. El montaje de una subcentral de reparaciones es imprescindible, si bien surge la duda desde el punto de vista económico, de si es más conveniente reparar en el exterior o proceder a la instalación aludida.

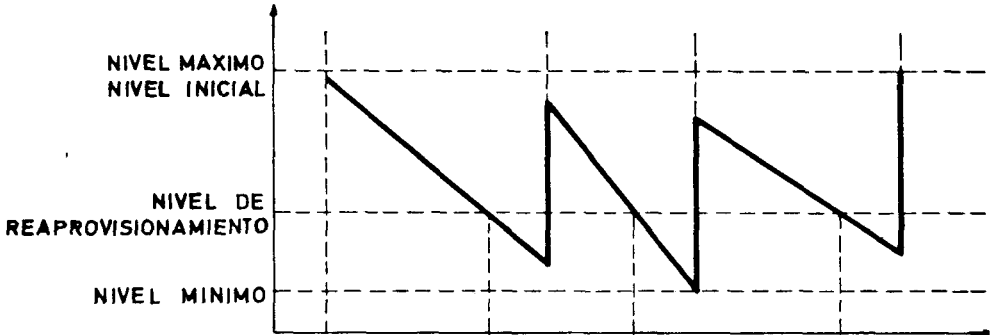
Otra de las aplicaciones prácticas y que constituye un caso típico de fenómeno secuencial es la política de stocks, cuya problemática estriba en cambiar las fechas y los volúmenes de reaprovisionamiento. Sin que por ello se deseche la definición de Fred Hanssman en su trabajo "A Survey of Inventory Theory from the Operations Research Viewpoint". Un stock es una reserva cualquiera no empleada, siempre que esta reserva tenga un valor económico". En síntesis, siguiendo a Starr-Miller, hay dos aspectos básicos: el aprovisionamiento del producto y la demanda futura. En el fondo y como siempre cuestión de estabilidad y regularidad.

Si la reserva supone un inmovilizado, es lógico que desde el prisma de la organización financiera de la empresa se tienda a eliminar. Mas desde el punto de vista económico, convendrá darle salida en el momento justo en que el mercado pueda absorberlo a precio remunerado. Es evidente que la estructura de la demanda va a ser decisiva. Si es stock de aprovisionamiento, será la estructura de la oferta la que decida. Hay que compaginar todos estos elementos, con lo que surge un fenómeno secuencial claro, ya que el problema estará en determinar el stock óptimo y el ritmo de disminución para llegar al momento exacto del reaprovisionamiento. Los factores aleatorios entran en su composición. El fenómeno de investigación operativa es evidente.

Se trata de un caso particular de programación dinámica, ya que el estudio se concreta a un período de tiempo amplio y de alguna forma ilimitado en la concepción normal de una empresa.

Como señala Kauffmann, los "problemas de stocks se presentan bajo la forma de fenómenos de espera de naturaleza especial". La diferencia reside en que, así como en los fenómenos de espera la llegada de unidades al sistema se produce una a una, en este caso, tanto la llegada como la prestación del servicio se refiere a un conjunto de unidades.

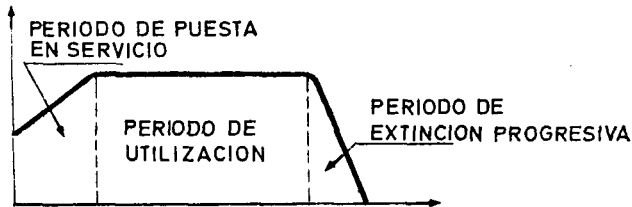
En el gráfico clásico, si bien la realidad no presenta un fenómeno tan continuo como para poderse representar por funciones lineales, la característica secuencial y la toma de decisiones se evidencia por sí misma.



No menos atención debe prestarse al fenómeno de la renovación y desgaste de los equipos industriales, otra de las manifestaciones de la investigación operativa aplicada a la organización de empresas. Es un problema clásico que obedece al principio de que un equipo debe renovarse cuando su coste marginal rebasa su coste medio.

Se nos ofrece como un problema de programación dinámica con horizonte económico ilimitado, por sus características y, por supuesto, admitiendo que el material renovado es siempre el mismo en lo fundamental.

Como el propósito está en que si el equipo lo forman varias unidades, hacer que el número de éstas en servicio siga una ley conocida, llamada función de utilización que, normalmente, se determina, a priori, y que es de la forma:



surgen inmediatamente las llamadas ley de aprovisionamiento y tasa de aprovisionamiento, que corresponden al número de equipos reemplazados hasta un momento determinado, así como el número de equipos en servicio en un momento concreto.

Una vez más el problema de la regularidad del servicio como base organizativa de la empresa, ya que el objetivo será en este caso prever las unidades que por avería o desgaste deben reemplazarse, la probabilidad de

reparación de averías en unidades de tiempo conocidas. Plenamente secular y preciso para el tema de decisión en una organización empresa Como recoge Yves Muller, en su libro "Iniciación a la Organización y Investigación operativa", la elección de una de las políticas típicas es gran importancia para la organización, ya que de ello depende no sólo el estado futuro del equipo, sino también la necesidad de prever o no el programa de los trabajos, los períodos necesarios, el entretenimiento o las reparaciones.

Así la solución del entretenimiento normal o corriente, entendiendo por tal la realización de todos los trabajos indispensables para la buena utilización de un equipo.

O la política de reparaciones, es decir, la puesta en buen estado de funcionamiento de un equipo, cuyo funcionamiento es deficiente o que ya no funciona.

O la política de entretenimiento o reemplazo sistemático, cuyo sentido no precisa aclaración, y que supone una actuación en momentos determinados y conocidos.

O la llamada política de entretenimiento preventivo, a base de parar intencionada y periódicamente el equipo o unidades del mismo a fin de someterlo a una revisión, también preventiva.

En cualquier caso, es necesario un estudio económico de carácter adecuado a un proceso evidentemente dinámico, aunque con tratamiento diferenciado.

Si bien todas las manifestaciones de la investigación operativa citadas, que unidas a la programación lineal ya clásica son, sin duda, las más aplicables a la organización de la empresa, especialmente en su gestión interna, quizá haya una técnica, decisiva aplicación directa de la programación dinámica que es la técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique); o las análogas CPM, LESS, que resuelven el problema de saber cuándo cada operación debe terminarse y la velocidad a que debe realizarse para que el proyecto se finalice con un coste mínimo o en un tiempo previsto, o la técnica PACT (Production Analysis Control Technique), cuyo principio básico es la previsión de las desviaciones con antelación para rectificar a tiempo.

Asimismo, el sistema de control de gestión SPECTRO, sistema que proporciona la información clásica que precisa la dirección y que hace referencia a todos los elementos de planificación, previsión, costes y controles. O el sistema SCANS (Scheduling Control and Automation by Network

System) cuyo objetivo es un control de gestión que permite integrar elementos tales como costes, mano de obra y otros.

Igual podría citarse el sistema RAMPS (Resource Allocation and Multi-Project Scheduling), que considera especialmente las restricciones que se presentan, tanto en los recursos disponibles, equipos precisos o prioridades impuestas.

En resumen y concretándolos a la técnica PERT, es "un medio eficaz de planificación y programación para las industrias de construcción completas y un tanto contribuyentes al desarrollo de las matemáticas modernas y a la utilización de los ordenadores electrónicos" (Yu Chuen-tao).

La determinación del camino crítico, tanto desde el ángulo de los costes como de los tiempos, de cada operación, resulta imprescindible para la planificación de una empresa, en especial cuando se trata de un proyecto en concreto. Es cierto que estos métodos no resuelven los problemas directamente. Engarzan los factores, haciendo más fácil la toma de decisiones y, en especial, reduciendo el factor incertidumbre.

Es un elemento de coordinación sustancialmente importante cuando se trata de un proyecto complejo. El tiempo de acción, al reflejarse en un gráfico todas las operaciones que intervienen, permite ver una panorámica de conjunto mucho más fructífera que por cualquiera de los métodos clásicos.

Sus ventajas se pueden resumir en las siguientes, por lo demás reproducidas en cualquiera de los múltiples textos y, sobre todo, de la experiencia de su aplicación: trabajos que serán necesarios primero y cuáles después con las consiguientes repercusiones en el stock de materiales y su financiación; determinación de la situación de un proyecto en relación con la fecha programada para su terminación; fijación de las actividades críticas, cuya alteración de lo que está programado repercute en todas las demás, y, por tanto, requieren especial atención; fijación de las restantes operaciones no críticas y determinación de las holguras permitidas, con la consiguiente repercusión económica y de financiación, y, por último, y de modo muy especial, cuál es la programación de un proyecto con coste total mínimo y duración óptima.

En el anejo número 3, que se incluye a continuación, se refleja otro caso real que muestra, por una parte, las dificultades señaladas y, por otra, la rentabilidad del sistema.

Es cierto que la determinación de la red reflejo de las operaciones que han de realizarse, no es fácil y exige un conocimiento técnico o tecnoló-

gico importante, pero una vez conseguido las ventajas son evidentes, siempre que el proyecto se ajuste a la realidad y no intente, inversamente, ajustar la realidad al proyecto.

Es importante destacar que en todo proyecto la financiación aparece como operación crítica, lo cual si bien resulta evidente, no es menos cierto que es la clave de la viabilidad real de la ejecución de lo proyectado.

Por último, entre otras muchas aplicaciones de la investigación operativa a la gestión empresarial, está también la técnica de la simulación, con multitud de posibilidades. Se puede afirmar que afrontan cuestiones que otras técnicas serían incapaces de resolver. Es cierto que sin el empleo de ordenadores electrónicos, es prácticamente imposible sacar de ellos todo el rendimiento deseado y, por otra parte, estas técnicas precisan un elevado grado de intuición y, sobre todo, de experiencia.

La cuestión inmediata, desde un punto de vista general, es llegar a determinar dónde se sitúa la simulación. Su definición no es fácil. No obstante, el siguiente cuadro, reproducido de "Les méthodes de simulation" (Monographies de recherche operationnelle), trabajo de Jacques Agard: "L'art de la simulation de quelques experiences", da una idea bastante clara.

		PROBLEMA DE TIPO	
		DETERMINISTA	ESTOCASTICO
MODELO DE TIPO	ANALITICO	MATEMATICAS, PROGRAMACION LINEAL, FISICA, MECANICA...	PROBABILIDAD, ESTADISTICA, FILAS DE ESPERA...
	ANALOGICO Y ALEATORIO	MONTE-CARLO	SIMULACION

Cuándo conviene emplear este sistema; qué tipo de programación es preciso; cuál debe ser el grado de detalle del modelo; cómo reproducir las variables aleatorias y otros puntos, son cuestión que entraña dificultades

importantes que obligan a un conocimiento experimentado de los riesgos de simulación.

Simplemente la redacción de los organigramas básicos ya tiene dificultad, pues de su claridad o no dependerá el éxito del proceso de simulación.

No obstante, ofrece grandes ventajas y entre ellas la facilidad de comprensión. Permite comparar políticas, así como apreciar la dispersión de los resultados y conocer las consecuencias medias, pero también los riesgos. Se pueden experimentar diversas políticas diferente para escoger lo mejor.

Por último, y como aplicación, los "juegos y modelos de empresa". La aplicación secuencial de decisiones, partiendo de unos componentes y siempre con ayuda de ordenadores, permiten hacer predicciones a plazo más o menos largo.

Es cierto que ellas pueden condicionar la organización de la empresa, en tanto en cuanto la empresa no vive aislada y se asienta en un mercado que, salvo casos de monopolio, ha de competir con otros, y a tal fenómeno de competencia ha de amoldar sus actuaciones, con la consiguiente repercusión en producción, almacenaje, financiación y otros aspectos concretos.

La reproducción de modelos y juegos de empresa sería fácil de hacer, pues son innumerables las publicaciones al respecto, sobre la aplicación de la teoría de juegos a la vida de la empresa. No obstante, lo importante es llamar la atención sobre las posibilidades del sistema, porque posiblemente aún no se haya sacado todo el partido de que son susceptibles.

CONCLUSION

Quizá la conclusión principal se centre en que, en el fondo, late la idea de estudiar en su conjunto todas las facetas que la empresa presenta, de modo que la investigación operativa aparece como un instrumento útil e imprescindible, pero instrumento.

Antes que nada hay que considerar que la empresa representa un sistema, y como tal sistema será preciso tener en cuenta aquellos principios filosóficos básicos que ya en 1937, L. Thomas Hopkins señalaba en su trabajo "Integration: Its Meaning and Application", y que se reproduce al tratar de los sistemas en general, en la obra sobre esta materia de Johnson, Kart y Rosenzweig:

Lo esencial es el todo, las partes son secundarias.

La integración permite las relaciones entre las partes de un todo. Las partes así conjuntadas no pueden ser modificadas sin repercutir en las otras.

Las partes juegan su papel, pero bajo la panorámica del todo.

La naturaleza y función de una parte son consecuencia de su posición en el todo.

El todo puede ser un sistema tan complejo como se quiera, más él se comporta como si fuera un solo elemento.

El todo es la base, lo inmutable y son las partes y las relaciones entre ellas las que se pueden transformar.

Esto es la empresa, un todo, y, por tanto, como tal hay que tratarla; como un sistema, sin que puedan abordarse por separado sus distintas manifestaciones.

Esto es justamente lo que la investigación operativa busca a través de todas sus técnicas concretas: proporcionar medios para un tratamiento global y sobre la base de la "rhochromatica" o "rhociematica", a la que se la define como ciencia de la gestión de los flujos de materia y que no es más que esta visión completa de todos los problemas que la gestión enfrenta. Así, ella, abarca el examen de la necesidad de una función, a la vista de los objetivos del sistema, y, por otro lado, la determinación de sus costes, relacionándolo con otras funciones.

En la empresa estamos, sin duda, ante un sistema. Cualquier visión parcial, minimiza el problema con las consiguientes repercusiones. Un sistema que actúa en el tiempo; que opera por fases, de tal suerte que, cuantas más fases sean posibles, más posibilidad habrá de tomar decisiones a plazo más amplio.

Como final, indicaremos que los ejemplos, altamente ilustrativos, que se incluyen como anejos han sido propuestos sobre la base de casos reales, por el autor de esta colaboración, y realizados bajo su dirección por los ingenieros superiores de Telecomunicación don Andrés Fernández Manzano, don Ricardo Martín Martín y don Jorge Bermúdez Sainz de Tejada.

Anejo 1

I. PLANTEAMIENTO

1.1. Se trata de planificar la financiación de una nueva empresa industrial que ha de dedicarse a la producción y ulterior venta de sistemas de alta fidelidad. Interesa esencialmente determinar el capital preciso para iniciar sus actividades.

La empresa en cuestión ha adquirido los derechos de patente de una marca internacional de reconocida solvencia técnica y cuyos productos tienen actualmente una favorable acogida en el mercado. Se espera que, con la planificación que se estudia, disminuyan sustancialmente los costes, lo cual, junto al ahorro de derechos de importación, permitirá un atractivo precio de venta, con la repercusión lógica en la demanda. No obstante, dada la limitación de este mercado, la operación de lanzamiento estará siempre acorde con las exigencias de la demanda.

1.2. La instalación necesaria para la fabricación que se pretende llevar a cabo se concibe con S instalaciones en paralelo, para una primera transformación de la materia prima empleada.

Asimismo, es necesaria una segunda transformación a través de las siete operaciones básicas que se señalan a continuación:

- Fabricación y montaje de los sintonizadores.
- Fabricación y montaje de los transformadores de adaptación.
- Fabricación y montaje de los altavoces de graves.
- Fabricación y montaje de los altavoces de medios.
- Fabricación y montaje de los altavoces de agudos.
- Fabricación y acoplo de los filtros de tres vías.
- Montaje de las cubiertas de los "baffles", con los accesorios y embellecedores correspondientes.

El orden de ejecución de estas operaciones es indiferente desde el punto de vista técnico.

La última fase del proceso industrial es simplemente el lanzamiento al mercado de los sistemas producidos según la exigencia de éste y cuya nota distintiva es su extrema sensibilidad ante el desaprovisionamiento, ya que la competencia es extraordinariamente activa.

II. CARACTERISTICAS TECNICAS

2.1. La materia prima que puede ser adquirida en el mercado precisa de una adaptación en unidades homogéneas de calidad, peso y medida antes de ser sometida a la primera transformación o fase del proceso industrial.

Se supone que esta adaptación no estará influida por el momento de la jornada de trabajo en que se realice, como asimismo tampoco ha de influir el momento en que se lleven a cabo las transformaciones básicas (es decir, la fase primera y segunda), dado el elevado grado de automatización, que técnicamente es posible y que confirman los catálogos de las casas ofertantes.

Para la adaptación en unidades homogéneas anteriormente aludidas y dada la sencillez de la misma, se prevé un solo equipo de trabajo.

El ritmo de adaptación se calcula en cinco unidades por hora, según los catálogos ya indicados. (Coeficiente corrector del 10 por 100.)

2.2 En cuanto a la segunda transformación, así como desde el punto de vista técnico, el orden de las siete operaciones es indiferente; igual ocurre en cuanto al tiempo global invertido en esta fase, cualquiera que sea el aludido orden de actuación.

III. CONDICIONANTES ECONOMICOS

3.1. El valor añadido en la fase de adaptación es del 10 por 100, y el de la primera y segunda transformación o fases, del 80 por 100 y 220 por 100 acumulativo.

3.2. La conservación de lo producido en cualquier momento del proceso de fabricación a efectos de lograr un 100 por 100 de efectividad permanente, representa un coste del 2,5 por 100 diario del coste total de lo fabricado o semielaborado.

Los costes de lanzamiento al mercado sobre la base de expedición óp-

tima se calculan como promedio por unidad en el 5 por 100 de los gastos de conservación.

3.3. El tipo de interés a efectos de amortizaciones, así como del préstamo inicial global y según las conversaciones mantenidas con las instituciones de crédito convenientes, se fija en el tipo de interés normal en España para operaciones a medio plazo, vigente el 1 de abril de 1969.

3.4. La materia prima adaptada necesaria para cada unidad de producción se valora en 1.000 pesetas, y el material desperdiciado en dicha operación es del 20 por 100, recuperable en un 5 por 100.

3.5. La obra civil imprescindible para las instalaciones, según estimación de arquitectos especializados y según las especificaciones de las casas ofertantes de la maquinaria, se cifra en un 10 por 100 del valor del equipo industrial total.

Los gastos de primer establecimiento, es decir, gestiones previas, patente o royalty, estudios técnicos y económicos, escritura notarial e inscripción en el Registro Mercantil, selección y contratación del personal facultativo, etc., se cifran en el 5 por 100 del valor total de la maquinaria.

3.6. El valor del equipo de adaptación de la materia prima se cifra en 1.000.000 de pesetas.

Para la primera fase o transformación es posible encontrar en el mercado tres tipos de maquinaria con los siguientes rendimientos y precios:

- De una unidad a la hora, 1.250.000 pesetas.
- De dos unidades a la hora, 2.000.000 de pesetas.
- De cinco unidades a la hora, 4.500.000 pesetas.

Y para todas ellas se estima un coeficiente corrector del 15 por 100.

3.7. En cuanto a la máquina y equipo complementario preciso para la segunda fase o transformación, se comprueba que en el mercado no hay más que una casa que ofrezca plena garantía de abastecimiento y conservación, con un tipo único de máquinas y equipo y cuyo valor total asciende a 50.000.000 de pesetas.

IV. CARACTERISTICAS DEL MERCADO

4.1. *Abastecimiento*.—Si bien la empresa desea adquirir materia prima que le garantice su producción durante un año, y así ha de operar a efectos de financiación, el mercado se encuentra perfectamente abastecido, por lo que no son de temer soluciones de continuidad.

La maquinaria que debe ser adquirida se encuentra dispuesta para entrega inmediata.

4.2. *Ventas*.—El riesgo fundamental que tiene este mercado es la posibilidad de perderlo tan pronto no se abastezca con regularidad.

Esta exigencia del mercado se compensa con una garantía absoluta en cuanto a pago de la mercancía recibida, en un plazo no superior a los seis meses, desde la citada recepción.

4.3. *Demanda*.—La previsión de demanda para la empresa, después de los sondeos del mercado realizados por el equipo de auscultadores contratado al efecto, asciende a 5.000 unidades año como mínimo.

La empresa operará sobre la base de dicha cifra.

V. OBSERVACIONES

5.1. El tiempo de inactividad en la segunda transformación supone un coste por hora igual al coste total de lanzamiento interno.

5.2. La matriz de costes prevista para el lanzamiento interno de la segunda transformación es la siguiente (en cientos de pesetas):

VI. INFORMACION REQUERIDA

6.1. Número de estaciones y capacidad de las mismas para la primera transformación.

6.2. Precio mínimo de venta que es preciso en el supuesto de marginalidad de la empresa.

6.3. Cuantía del préstamo o capital necesario y cuadro de amortización supuesto un período de veinte años para inmuebles y gastos de primer establecimiento, y de cinco años para el equipo industrial, dada la rapidez de los avances tecnológicos en la especialidad.

En cuanto al capital circulante, hay que tener en cuenta que no se em-

pezará a vender en el mercado hasta pasado un año de producida la primera unidad, ya que la conquista del mercado, aunque no ofrece especiales dificultades, exige dicho período para consolidarse.

Los gastos derivados de la conquista del mercado se incluyen con carácter excepcional entre los gastos de primer establecimiento.

6.4. Esquema del proceso general.

6.5. Número medio de unidades semielaboradas o terminadas antes de iniciarse cada fase o transformación.

	0_1	0_2	0_3	0_4	0_5	0_6	0_7
0_1	0	2	11	22	16	9	10
0_2	10	0	13	7	14	6	7
0_3	12	10	0	24	12	5	23
0_4	15	15	21	0	30	10	2
0_5	18	10	17	2	0	18	17
0_6	9	6	18	1	3	0	1
0_7	6	3	14	19	7	4	0

I

CALCULOS REFERENTES A LA PRIMERA TRANSFORMACION

Vamos a considerar que un año tiene trescientos días laborables y que la jornada laboral cuenta con ocho horas de trabajo; por tanto el año tendrá: $300 \cdot 8 = 2.400$ horas de trabajo.

Bajo este supuesto, y con el de que la empresa va a producir 5.000 unidades/año, se llega a la conclusión de que el número de unidades que por término medio debe fabricar dicha empresa es de: $5.000/2.400 = 2,09$ unidades/hora.

El estudio siguiente se basa en que tanto la llegada como la salida de unidades del sistema a la fase de adaptación, así como a la primera y segunda transformación, es del tipo aleatorio, cumpliendo las hipótesis de Poisson, por lo que se producen fenómenos de espera antes de cada una de las etapas del proceso de fabricación.

El apéndice lo dividiremos en tres apartados que nos indicarán lo que sucede en cada una de las colas existentes.

Apartado 1.º En él estudiaremos lo que sucede antes de la fase de adaptación; podemos considerar un sistema formado por una línea de espera y dicha fase considerada como estación.

La tasa media de llegada será de 2,09 unidades/hora. Asimismo, según se especifica en las observaciones del enunciado de este trabajo, la tasa media de adaptación de esta unidad de producción es: $(5) - (0,1) (5) = 4,5$ unidades/hora, llamando \emptyset a la tasa media de tráfico $\emptyset = 2,09/4,5 = 0,465$, y puesto que la expresión que nos da el número medio de unidades en una cola de este tipo es: $\bar{v} = \emptyset^2/(1-\emptyset)$, dando valores en nuestro caso será:

$$\bar{v} = 0,405 \text{ unidades.}$$

Lógicamente el proceso que se ha desarrollado es estacionario, ya que la tasa de servicio es mayor que la de entrada, por lo que el número medio de unidades que salgan del sistema será de 2,09 unidades/hora, dicha salida de elementos será a su vez poissoniana, como se indicó en principio.

Apartado 2.º La salida del sistema descrito en el apartado precedente es la entrada de unidades al nuevo sistema formado por una línea de espera y un cierto número de estaciones en paralelo, destinadas a efectuar la primera transformación.

En el presente apartado se trata de analizar las diversas soluciones que se le presentan a la empresa en lo que respecta a esta fase, para elegir la más conveniente. La elección ha de hacerse de tal forma que la capacidad de transformación de esta fase sea superior a la tasa de llegada de unidades a ella a fin de que no se produzca un fenómeno acumulativo.

Puesto que el número de unidades que llegan a la primera transformación es de 2,09 unidades/hora, las tasas medias de servicio de las citadas estaciones debe ser superior a la mencionada cifra. Las posibilidades existentes son las siguientes:

A) Escogiendo una de las estaciones de una unidad/hora y la otra de dos unidades/hora, siendo las tasas medias de servicio en tal caso:

$$\mu_1 = 1 - 0,15 = 0,85 \text{ u/h.}$$

$$\mu_2 = 2 - (0,15) (2) = 1,7 \text{ u/h.}$$

Con estos valores y acudiendo a las fórmulas de la nota teórica (I) obtenemos un número medio de unidades en la cola de: $\bar{v} = 3,4$ unidades.

Puesto que en la entrada de esta fase las unidades se valoran en 1.000 pesetas y los gastos de conservación representan un 2,5 por 100 diarios, dicha cola representará un gasto diario de: $(3,4) (1.000) (2,5) (1/100) = 85$ pesetas/día.

En el supuesto de que el interés que podemos conseguir para un capital, interés anual, es del 3 por 100. Dicho interés del 3 por 100 anual representa un interés diario (i) dado por la expresión siguiente:

$$1 + 3/100 = (1 + i) 360$$

haciendo cálculos obtenemos:

$$i = 0,095/360$$

Calculemos, pues, cuál es el capital capaz de cubrir el gasto en cuestión, durante un período de tiempo de cinco años, equivalente a 1.800 días, éste vendrá dado por la siguiente expresión:

$$C = (85) (1 + r^n) / i, \text{ donde } r = 1/(1 + i) \text{ y } n = 1.800 \text{ días}$$

haciendo los cálculos aproximados (ya que i es un número muy pequeño), obtenemos:

$$C = 122.000 \text{ pesetas.}$$

cantidad que podremos suponer añadida a la del coste de la máquina cuya línea de espera estamos estudiando; bajo este supuesto el precio total de ésta asciende a:

	1.250.000 pesetas
+	2.000.000 "
+	122.000 "
	<hr style="width: 10%; margin: 0 auto;"/>
Total	3.372.000 pesetas

B) Escogiendo tres estaciones de rendimiento de 1 unidad/hora, el número de unidades en cola será:

$$\bar{v} = (\varnothing)^4 (P_0) / (3) (3!) (1 - \varnothing/3)^3$$

$$P_0 = 1 / [1 + \varnothing/1! + \varnothing^2/2! + \varnothing^3/3! (1 - \varnothing/3)]$$

dando valores en las expresiones anteriores obtenemos:

$$\bar{v} = 3,1 \text{ unidades.}$$

el costo diario que significa esta cola es el siguiente:

$$(3,1) (1.000) (2,5/100) = 78,50 \text{ pesetas/diarias.}$$

haciendo el mismo cálculo de capital que en el caso anterior obtenemos:

$$C = (78,50/85) \times 122.000 = 3.112.000 \text{ pesetas}$$

por lo que el coste equivalente de la maquinaria en este caso es el siguiente:

	1.250.000	pesetas
+	1.250.000	"
+	1.250.000	"
+	112.000	"
<hr/>		
Total	3.862.000	pesetas

Como vemos, en principio, esta solución es menos económica que la anterior; no obstante, dadas las ventajas que de su adopción se derivan, creemos oportuno el escogerla. Las ventajas son las siguientes:

- Poder disponer de piezas de recambio del mismo tipo para todas las máquinas.
- Si sobreviene una avería, la capacidad de producción en este caso no se reduce más que en un 0,85 unidad/hora, mientras que con la primera solución, la esperanza matemática de reducción de productividad se cifraría en 1,27 unidades/hora.
- Los operarios encargados de manipular las citadas máquinas recibirán la misma preparación.

Al igual que en el apartado primero del presente apéndice podemos asegurar que el proceso es estacionario, por lo que el número medio de unidades que salen del sistema estudiado será de 2,09 unidades/hora; esta salida corresponde a la entrada del sistema siguiente, que se expone a continuación.

Apartado 3.º En el sistema correspondiente a la segunda transformación, tenemos una entrada de elementos con las características mencionadas anteriormente. Se trata de estudiar el coste que nos acarreará diariamente dicha transformación, intentando minimizarlo en todo lo posible.

Consideremos los dos costes que intervienen en este caso, que son:

- El coste de almacenamiento de las unidades en cola, correspondiente al sistema en cuestión.
- El coste de inactividad de dicha fase o transformación.

El sistema correspondiente a este apartado es similar en número de colas y estaciones al estudiado en el apartado primero, por lo que la

expresión que da el número medio de unidades en cola es válida en el presente caso, esta es:

$$\bar{v} = \varnothing^2 / (1 - \varnothing)$$

en la cual, como siempre, $\varnothing = \lambda/\mu$ siendo $\lambda = 2,09$ y μ un número que habremos de determinar con la condición de que el gasto diario sea mínimo.

Como sabemos, el coste de las unidades de la cola de este sistema es de 1.800 pesetas/unidad, lo que significa para cada una de las unidades un gasto de almacenamiento diario de:

$$(1.800) (2,5)/(100) = 45 \text{ pesetas/día}$$

por otra parte sabemos que cada hora de inactividad de la segunda transformación cuesta 2.000 pesetas.

El tiempo medio de inactividad de la segunda transformación viene dado por la fórmula:

$$\bar{t} = 1 - \varnothing \text{ en fracción de hora/día}$$

por lo que en una jornada completa existe inactividad durante: $(1 - \varnothing) (8)$ horas, representando un coste diario en concepto de tal inactividad de:

$$(1 - \varnothing) (8) (2.000) \text{ ptas/día}$$

El coste calculado no incluye todos los días del año (360), únicamente los laborables (300), por lo que podemos calcular un coste equivalente que incluya todos los días del año:

$$(1 - \varnothing) (8) (2.000) (300)/(360) \text{ ptas/día}$$

con el cual podemos formar ya la función económica que nos indique el gasto total de la segunda transformación, diario:

$$C_d = (45) (\varnothing^2)/(1 - \varnothing) + 13.333 (1 - \varnothing)$$

cuyo mínimo corresponde a la condición:

$$\begin{aligned} dC_d/d\emptyset &= 0 \\ \emptyset^2 + 2 \emptyset + 13.333/13.378 &= 0 \\ \emptyset &= 1 \pm \sqrt{45/13.378} \end{aligned}$$

hemos de descartar el signo (+) de la solución, ya que la tasa media de tráfico ha de ser menor que la unidad. Por tanto, resulta:

$$\emptyset = 1 - 6,7/117 = 110,3/117$$

Así, pues, queremos hacer trabajar a esta segunda estación transformadora con una tasa de servicio:

$$\mu = (2,09) (117)/(110,3) \text{ unidades/hora}$$

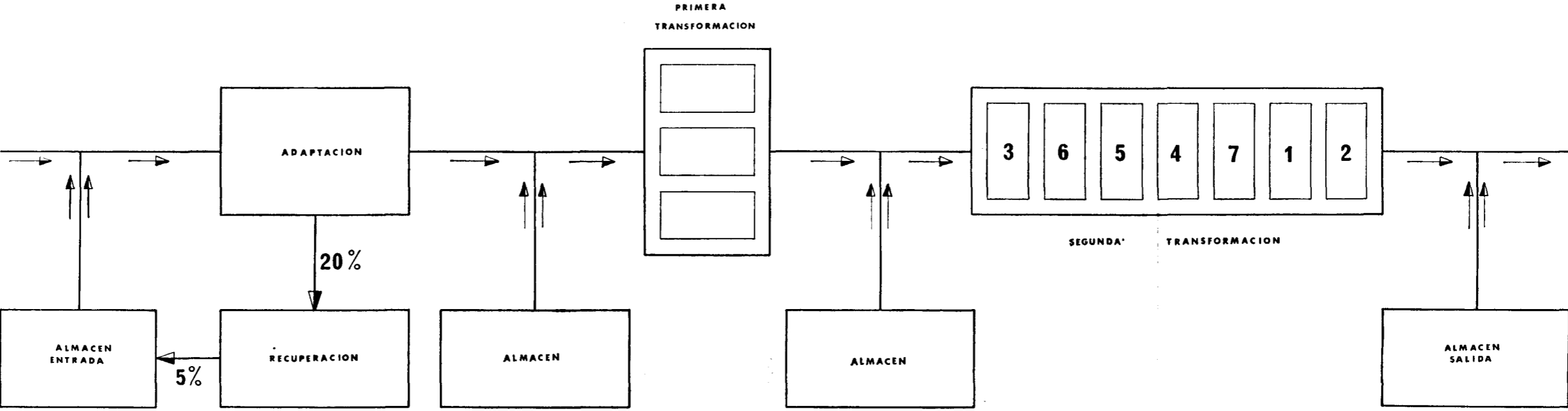
con unos costes diarios:

— En concepto de unidades en cola	695 pesetas
— En concepto de horas inactivas	760 "

Las cantidades anteriores se obtienen por sustitución del valor de \emptyset en cada uno de los sumandos que integran la función económica, cuyo valor diario será de

$$C_d = 695 + 760 = \underline{1.455 \text{ pesetas/día.}}$$

ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO



II

CALCULO DEL CAMINO CRITICO EN LA SEGUNDA TRANSFORMACION

En el presente apéndice vamos a exponer las diferentes etapas seguidas a fin de calcular la ordenación óptima de las siete operaciones de que consta la segunda transformación de la materia prima ya semielaborada en una primera transformación. El proceso consta de cuatro etapas, que se detallan a continuación.

1.^a ETAPA:

A partir de la matriz de costes de lanzamiento interno, se calcula la matriz Hamiltoniana, para lo cual tomando un par de estaciones cualesquiera (J,K), vemos que el arco o camino que las une tiene dos sentidos opuestos cada uno de los cuales viene definido por un coste determinado de ellos; lógicamente elegiremos el de menor coste, lo que en la matriz Hamiltoniana vendrá representado por un *uno*, mientras que el camino entre ambas estaciones que tenga coste superior vendrá representado por un *cero*. Se adopta el criterio de marcar con cero los cuadros correspondientes a la diagonal principal, ya que se trata de caminos de duración cero entre dos estaciones iguales y, por tanto, con coste indeterminado.

2.^a ETAPA

Una vez obtenida la matriz Hamiltoniana se dibujan una serie de gráficos, en número de siete, que indican todos los caminos existentes, que partiendo de cualquiera de los seis elementos restantes, termine en uno

previamente determinado, y naturalmente excluido de los seis anteriormente mencionados. Dichos caminos deben ser tales que sus arcos enlacen todos los elementos, de forma que en un camino cualquiera no exista repetido ninguno de dichos elementos. Para la obtención de los gráficos se procede del siguiente modo:

Se concreta primeramente como elemento terminal el 0_1 , a continuación en la columna siguiente del gráfico se colocan los elementos que pueden ser ascendientes al 0_1 , labor que se realizará mirando la primera columna de la matriz obtenida en el apartado primero, de forma que los elementos correspondientes a las casillas de dicha columna en las que haya un uno son los que pueden anteceder al 0_1 . De esta forma tenemos la segunda columna de nuestro gráfico. Debemos unir el elemento 0_1 con los que se hayan obtenido en la segunda columna.

Para obtener la tercera columna del gráfico, se procede a reiterar el proceso, tomando como elementos terminales los hallados en la segunda columna, y así sucesivamente hasta llegar a la séptima y última columna del gráfico en cuestión.

Una vez completado el gráfico, se obtendrán los posibles caminos que terminan en el elemento 0_1 , mediante la correspondiente tabla que se expondrá en la tercera etapa.

En forma idéntica se obtienen los seis gráficos restantes en los que se toma como elemento terminal el $0_2, 0_3 \dots 0_7$, respectivamente, sólo hay que resaltar que, en lo que se refiere a la obtención de los seis gráficos últimos, eliminaremos las combinaciones cíclicas, ya que éstas se pueden obtener por simple permutación circular del gráfico primero, es decir, que en las respectivas columnas séptimas de dichos gráficos eliminaremos los elementos que puedan posponerse al elemento terminal en cuestión.

En la misma forma descrita anteriormente, basándonos en el correspondiente gráfico elaboraremos una tabla que nos indique todas las combinaciones, excluidas las cíclicas, de los caminos descritos anteriormente.

3.^a ETAPA

Partiendo de los gráficos obtenidos en la etapa segunda, podemos formar una serie de tablas, una por cada gráfico, que nos indicarán todos los caminos posibles.

Representaremos una tabla de siete filas por siete columnas; de dicha tabla, cada una de las columnas representará cada una de las columnas del gráfico, así como cada fila de la tabla a cada fila del gráfico.

por el elemento terminal predeterminado pondremos el número correspondiente a dicho elemento terminal, con lo que la primera columna quedará completa. A continuación debemos calcular la segunda columna, y lo haremos rellenando las casillas correspondientes a los elementos existentes en la misma columna del gráfico, en la que pondremos en primer lugar el número del subíndice del elemento existente en la primera columna y a continuación el del elemento correspondiente en la segunda columna del gráfico.

Para rellenar la tercera columna, haremos esto mismo con los elementos de la tercera columna del gráfico, poniendo en cada casilla los números correspondientes a la casilla de la segunda columna conexcionada a la que estamos examinando, y a continuación el número del subíndice del elemento en cuestión.

Este modo de proceder es reiterativo y únicamente conviene hacer hincapié en la necesidad de anular los números que tengan una cifra repetida al rellenar cada casilla.

Los caminos posibles los obtendremos en la séptima columna invirtiendo los números de dicha columna.

Solamente tiene algo de especial sobre las demás la tabla primera, ya que de ésta nos salen no sólo los caminos propios terminados en 1, sino también todos los cíclicos, ya que no hemos eliminado como elementos iniciales los que se podían posponer al 0_1 .

4.^a ETAPA

La última operación para el cálculo del camino óptimo, y puesto que en el apartado tercero hemos calculado todos los caminos posibles, consiste en comparar el coste de dichos caminos y escoger el menos costoso para ello compararemos primeramente los cíclicos entre sí.

Una primera comparación consiste en averiguar el óptimo de cada ciclo, para lo cual calculamos el coste del ciclo cerrado, vemos cuál de ellos es el mayor y a qué arco corresponde éste; cortando entonces el ciclo o circuito por dicho arco obtendremos el camino óptimo de los siete posibles que pueden formarse a partir de dicho ciclo; esto se repite con cada uno de los ciclos, y a continuación se comparan los óptimos de cada ciclo obteniéndose el óptimo total de los ciclos.

Para calcular el coste de los no cíclicos basta con sumar el coste de cada uno de los arcos que constituyen el camino.

Formamos, pues, diversas tablas de caminos no cíclicos con sus correspondientes costes eligiendo al final de cada una de las tablas el óptimo de la familia de cada terminal.

Por último, en una tabla resumen se comparan los resultados obtenidos en cada una de las tablas anteriores, con lo que habremos obtenido el óptimo de todos los caminos posibles.

0	2	11	22	16	9	10
10	0	13	7	14	6	7
12	10	0	24	12	5	23
15	15	21	0	30	10	2
18	10	17	2	0	18	17
9	6	18	1	3	0	1
6	3	14	19	7	4	0

GRÁFICO Oa
Matriz de costes

0	1	1	0	1	1	0
0	0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0

GRÁFICO Ob
Matriz previa de los combinacionales

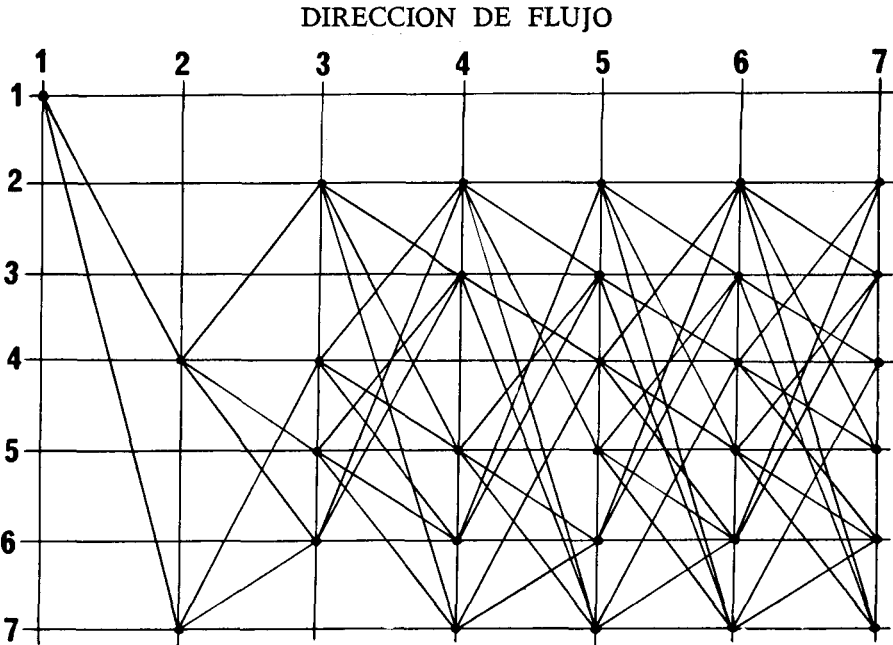


GRÁFICO 1
Combinacionales no cíclicos con salida 1
Combinacionales cíclicos

DIRECCION DE FLUJO

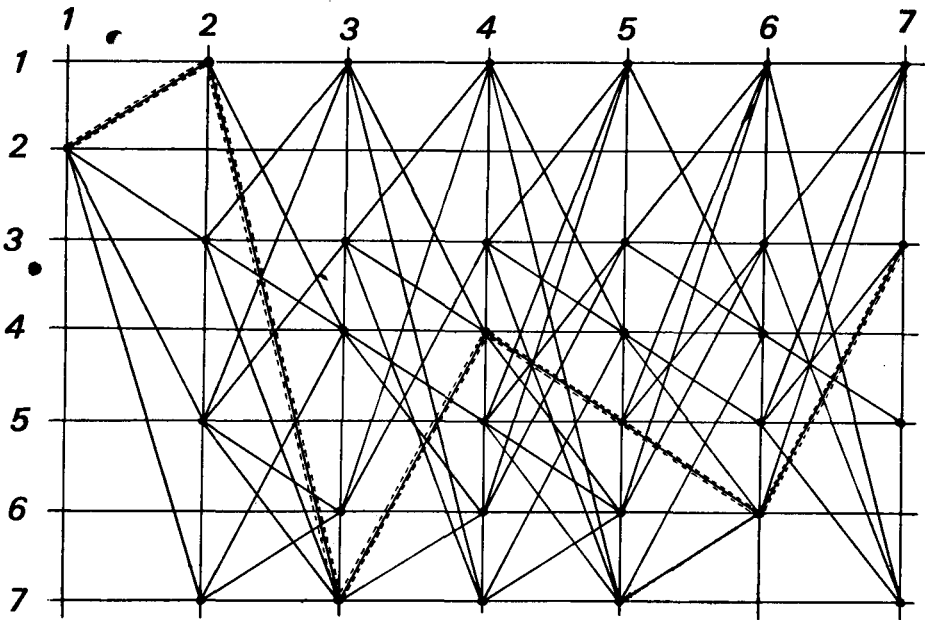


GRÁFICO 2

Combinacionales no cíclicos con salida 2

DIRECCION DE FLUJO

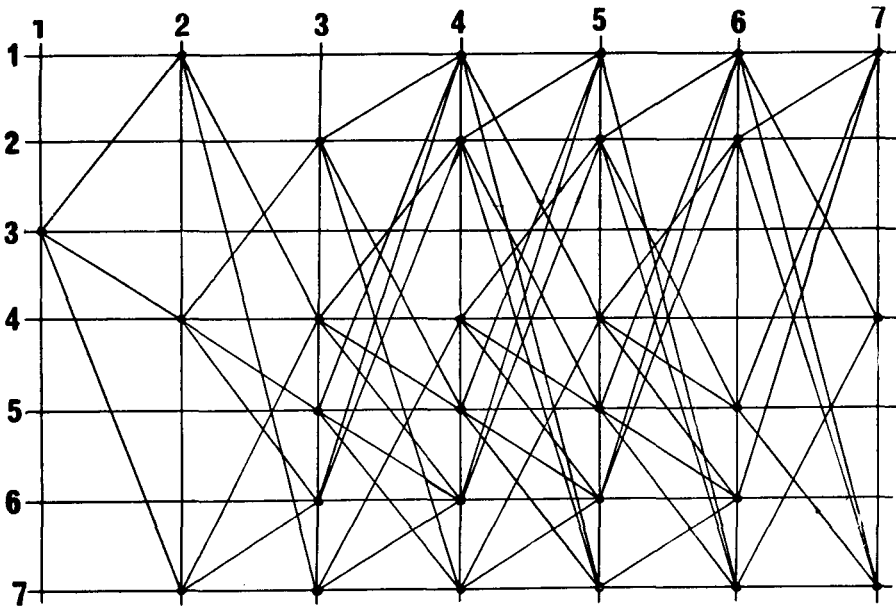


GRÁFICO 3

Combinacionales no cíclicos con salida 3

DIRECCION DE FLUJO

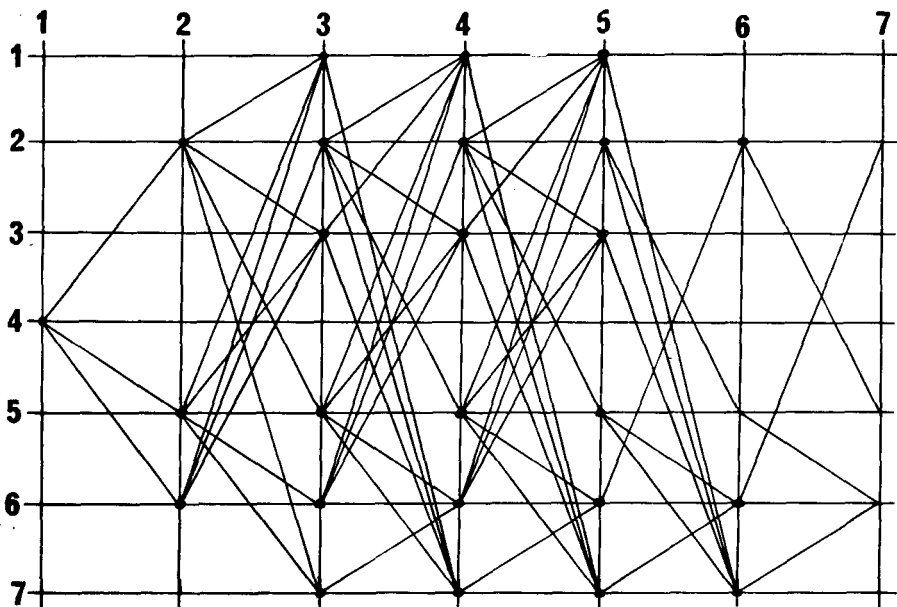


GRÁFICO 4
Combinacionales no cíclicos con salida 4

DIRECCION DE FLUJO

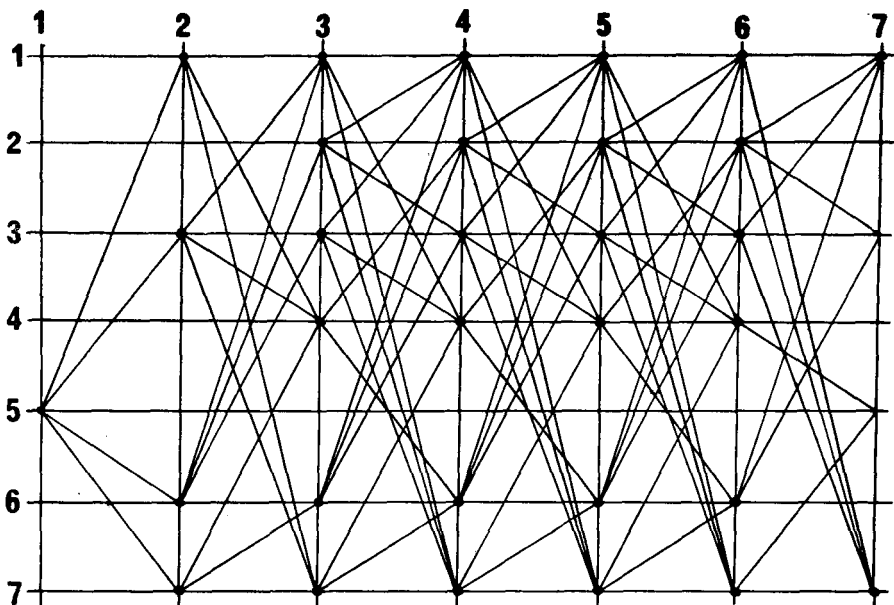


GRÁFICO 5
Combinacionales no cíclicos con salida 5

DIRECCION DE FLUJO

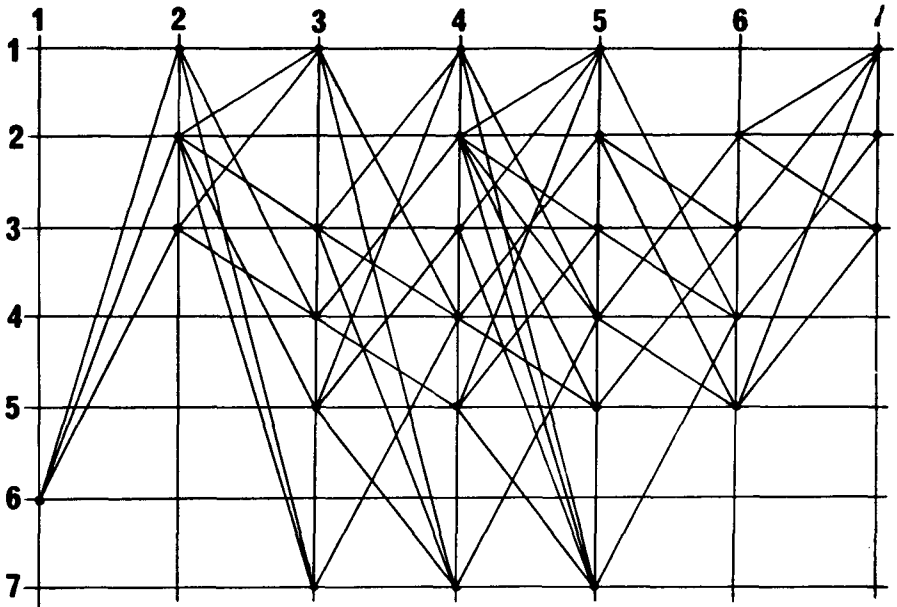


GRÁFICO 6

Combinacionales no cíclicos con salida 6

DIRECCION DE FLUJO

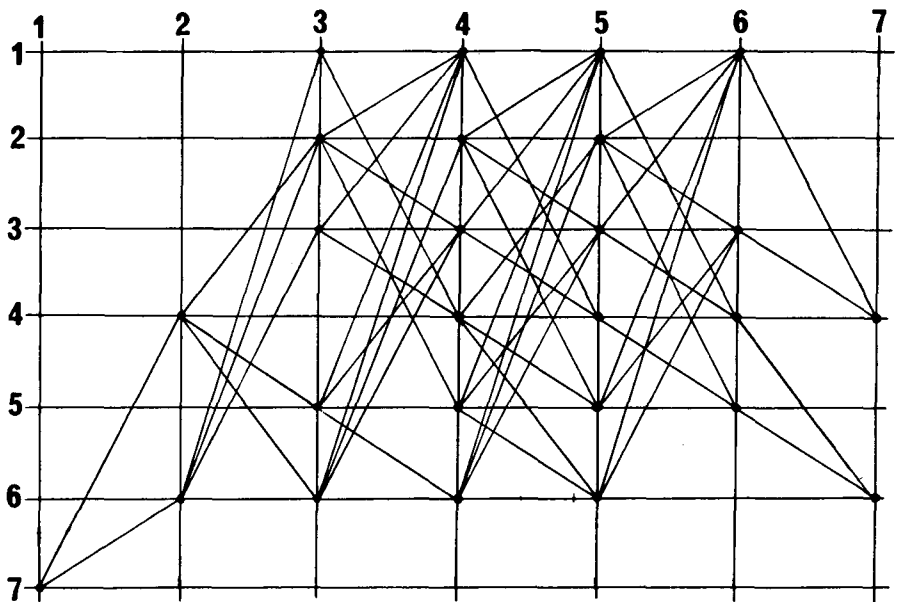


GRÁFICO 7

Combinacionales no cíclicos con salida 7

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅	0 ₆	0 ₇
0 ₁	1						
0 ₂			142	1742 1462 1762	17462 14562	176342 174562 145762	1453762
0 ₃				1423 1453 1463 1763	17423 14623 17623 14253 17453 17463 14563	174623 145623 174253 146253 176254 142563 174563 142763	1745623 1457623 1746253 1742563 1425763
0 ₄		14	174		17634	176234	1762534
0 ₅			145	1425 1745	17425 14625 17625	174625 176345	1763425 1762345
0 ₆			146 176	1746 1456	14256 17456 14276 14576	174256 142376 145376 142576	1425376
0 ₇		17		1427 1457	14627 14237 14537 14637 14257	145627 146237 142537 145637 146257	1456237 1462537 1425637

R. ARGAMENTERIA GARCIA

	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅	0 ₆	0 ₇
0 ₁		21	231 251	2531 2561 2761	25631 27631 23461 27461 23761 25761 23451 27451	237461 257461 234561 274561 253761 274531 274631 257631	2374561 2345761
0 ₂	2	23	253	2563 2763	21453 27453 21463 27463 21763 25763	217453 251463 217463 257463 214563 274563 251763	2761453 2517463 2174563 2145763
0 ₃			214 234 274	2314 1514 2534 2174 2374 2574	25314 25614 27614 25634 27634 23174 25174 25374	256314 276314 237614 257614 217634 257634 253174 256174	
0 ₄		25		2145 2345 2745	23155 21745 23745	276145 276345 231745	2763145 2376145 2176345
0 ₅							
0 ₆			256 276	2146 2346 2746 2176 2376 2576	23146 25146 25346 21746 23746 25746 21456 23456	253146 231456 251746 253746 231456 217456 237456 253176	
0 ₇		27	217 237 257	2317 2517 2537	25317 25617 21457 23457		2534617 2345617 2514637 2145637

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅	0 ₆	0 ₇
0 ₁		31		3421 3451 3461 3761	37425 34625 37625 34251 37451 37461 34561	374621 345621 374251 346251 376251 342561 374561 342761	3745621 3457621 3746251 3742561 3425761
0 ₂			342	3142 3742 3462 3762	31742 31462 37462 34562 31762	376142 317462 314562 374562 345762	
0 ₃	3						
0 ₄		34	314 374	3147	37614		3762514
0 ₅			345	3425 3145 3745	31425 37425 34615 37625 31745	317425 314625 374625 317625 376145	
0 ₆			346 376	3146 3746 3456 3176	31746 34256 31456 37456 34276 34576	314256 374256 317456 342176 345176 314276 342576 314576	
		37	317	3427 3457	34217 34517 34617 31427 34627 34257 31457	314256 374256 317456 342176 345176 314276 342576 314576	

R. ARGAMENTERIA GARCIA

	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅	0 ₆	0 ₇
0 ₁			421 451 461	4621 4231 4531 4631	45621 46231 42531 45631 45761		
0 ₂		42	462	4562	45762	451762 453762	4531762
0 ₃			423 453 463	4623 4253 4563	45623 46253 42563 42763 45763		
0 ₄	4						
0 ₅		45	425	4625			
0 ₆		46	456	4256 4276 4576	42176 45176 42376 45376 42576	423176 453176 425176 425376	4253176
0 ₇			427 457	4217 4517 4617 4627 4237 4537 4637 4257	46217 42317 45317 46317 42517 45617 45627 46237	456217 462317 425317 456317 462517 425617 456237 462537	

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅	0 ₆	0 ₇
0 ₁		51	531 561	5621 5631 5761	53421 57421 57621 56231 57631 53461 57461	563421 537421 534621 574621 537621 574231 576231 574631	5763421 5637421 5374621 5746231 5342761
0 ₂			562	5142 5342 5742 5762	53142 56142 56342 51742 53742 51462 53462 57462	563142 576142 576342 531742 561742 563742 531462 517462	
0 ₃		53	563	5623 5763	51423 57423 57623 51463 57463 51763	561423 517423 514623 574623 517623	5761423 5617423 5174623 5142763
0 ₄			514 534 574	5314 5614 5634 5174 5374	56214 56314 57614 56234 57634 53174 56174 56274	576214 562314 576314 537614 576234 517634 562174 563174	
0 ₅	5						
0 ₆		56	576	5146 5346 5746 5176 5376	53146 51746 53746 53176	531746 514276 534276	5342176 5314276 5142376
0 ₇		57	517 537	5317 5617 5627 5637	56217 56317 51427 53427 56327	534217 562317 534617 531427 561427 563427 514627 534627	5634217 5346217 5631427 5314627 5614237 5146327

R. ARGAMENTERIA GARCIA

	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅	0 ₆	0 ₇
0 ₁		61	621 631	6231 6251	63421 62531 63451		6274531 6237451
0 ₂		62		6142 6342	63142 61742	631742	
0 ₃		63	623	6253	61423 61453	617423 614253 621453 617453 627453	6174253 6217453
0 ₄			614 634	6214 6314 6234 6174 6274	62314 62514 62174 63174 62374 62574	625314 623174 625174 625374	
0 ₅			625	6145 6345	62745 61425 63425 62145 63145 62345 61745	631425 617425 623145 621745 631745 623745	
0 ₆	6						
0 ₇			617 627	6217 6317 6257 6237	62317 62517 61427 63427 62537 61457 63457		

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

	01	02	03	04	05	06	07
01			761	7421 7621 7631 7451 7461	74621 74231 76231 74531 74631 74251 76251	763421 745621 746231 742531 762531 745631 746251	
02			742 762	7462	76142 76342 74562		
03			763	7423 7623 7453 7463	74623 74253 76353 74563	761423 745623 746253 761453 742563	
04		74		7614 7634	76214 76314 76234	763214 762514 762534	7625314
05			745	7425 7625	74625 76145 76345	761425 763425 745625 762145 763145 762345	
06		76	746	7456	74256		
	7						

TABLA DE LOS COSTES DE LOS CAMINOS CÍCLICOS

<i>Circuito</i>	<i>Coste del circuito</i>	<i>Arco de máximo coste</i>	<i>Camino óptimo del circuito</i>	<i>Coste del camino óptimo del circuito</i>
2-6-7-3-5-4-1-2	6+1+14+12+2+15+2	4-1	1-2-6-7-3-5-4	37
3-2-6-5-4-7-1-3	10+6+3+2+2+6+11	1-3	3-2-6-5-4-7-1	29
3-2-6-7-5-4-1-3	10+6+1+7+2+15+11	4-1	1-3-2-6-7-5-4	36
3-5-2-6-4-7-1-3	12+10+7+1+2+6+11	3-5	5-2-6-4-7-1-3	37
3-6-7-5-2-4-1-3	5+1+7+10+7+15+11	4-1	1-3-6-7-5-2-4	41
5-2-4-3-6-7-1-5	10+7+21+5+1+6+16	4-3	3-6-7-1-5-2-4	45
5-4-3-2-6-7-1-5	2+21+10+6+1+6+16	4-3	3-2-6-7-1-5-4	41
6-7-3-5-2-4-1-6	1+14+12+10+7+15+9	4-9	1-6-7-3-5-2-4	53
3-6-5-2-4-7-1-3	5+3+10+7+2+6+11	1-3	3-6-5-2-4-7-1	33

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₁

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
4-3-5-2-6-7-1	21+12+10+6+1+6	56
7-3-2-6-5-4-1	14+6+3+2+15+10	50
7-3-5-2-6-4-1	14+12+10+6+1+15	58
7-3-6-5-2-4-1	14+5+3+10+7+15	54

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₂

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
1-3-6-4-7-5-2	11+5+1+2+7+10	36
1-3-6-5-4-7-2	11+5+3+2+2+3	26
1-5-4-3-6-7-2	16+2+21+5+1+3	48
1-6-4-7-3-5-2	9+1+2+14+12+10	48
1-6-5-4-7-3-2	9+3+2+2+14+10	40
1-6-7-5-4-3-2	9+1+7+2+21+10	50
3-5-4-1-6-7-2	12+2+15+9+1+3	42
3-6-4-7-1-5-2	5+1+2+6+16+10	40
3-6-5-4-7-1-2	5+3+2+2+6+2	20
3-6-7-5-4-1-2	5+1+7+2+15+2	32
5-4-1-3-6-7-2	2+15+11+5+1+3	37
5-4-1-6-7-3-2	2+15+9+1+14+16	51
5-4-3-6-7-1-2	2+21+5+1+6+2	37
7-1-6-4-3-5-2	6+9+1+21+12+10	59
7-1-6-5-4-3-2	6+9+3+2+21+10	51
7-3-6-5-4-1-2	14+5+3+2+15+2	41

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₃

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
1-6-7-5-2-4-3	9+1+7+10+7+21	55
1-6-5-2-4-7-3	9+3+10+7+2+14	45
1-5-2-6-4-7-3	16+10+6+1+2+14	45
1-2-6-7-5-4-3	2+6+1+7+2+21	39
1-2-6-5-4-7-3	2+6+3+2+2+14	29
4-1-5-2-6-7-3	15+16+10+6+1+14	62
7-1-2-6-5-4-3	6+2+6+3+2+21	40
7-1-5-2-6-4-3	6+16+10+6+1+21	60
7-1-6-5-2-4-3	6+9+3+10+7+21	56
7-2-6-5-4-1-3	3+6+3+2+15+11	40
7-5-2-6-4-1-3	7+10+6+1+15+11	50

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₄

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
2-6-7-1-3-5-4	6+1+6+11+12+2	38
6-7-1-3-5-2-4	1+6+11+12+10+7	47

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₅

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
1-2-4-3-6-7-5	2+7+21+5+1+7	43
1-2-4-7-3-6-5	2+7+2+14+5+3	33
1-2-6-4-7-3-5	2+6+1+2+14+12	37
1-3-2-6-4-7-5	11+10+6+1+2+7	37
1-6-7-2-4-3-5	9+1+3+7+21+12	53
3-2-4-1-6-7-5	10+7+15+9+1+7	49
3-2-4-7-1-6-5	10+7+2+6+9+3	37
3-2-6-4-7-1-5	10+6+1+2+6+16	41
3-6-7-2-4-1-5	5+1+3+7+15+16	47
6-7-2-4-3-5	1+6+2+7+21+12	49
6-7-2-4-1-3-5	1+3+7+15+11+12	49
6-7-3-2-4-1-5	1+14+10+7+15+16	63
7-1-2-4-3-6-5	6+2+7+21+5+3	44
7-1-2-6-4-3-5	6+2+6+1+21+12	48
7-2-4-1-3-6-5	3+7+15+11+5+3	44
7-2-6-4-1-3-5	3+6+1+15+11+12	48
7-3-2-4-1-6-5	14+10+7+15+9+3	58
7-3-2-6-4-1-5	14+10+6+1+15+16	62

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₆

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
1-3-5-4-7-2-6	11+12+2+2+3+6	36
1-5-4-7-3-2-6	16+2+2+14+10+6	50
3-5-2-4-7-1-6	12+10+7+2+6+9	46
3-5-4-7-1-2-6	12+2+2+6+2+6	30

TABLA DE LOS COSTES DE SALIDA 0₇

<i>Camino</i>	<i>Suma de los arcos del camino</i>	<i>Coste total del camino</i>
4-1-3-5-2-6-7	15+11+12+10+6+1	55

III

CALCULO DEL PRESTAMO INICIAL Y CUADRO DE AMORTIZACION

Dividimos el apéndice en los siguientes apartados:

Apartado 1.º Cuantía del valor de la maquinaria, de la obra civil y de los gastos de primer establecimiento:

Coste de la etapa de adaptación	1.000.000 ptas.
Coste de la primera transformación	3.750.000 "
Coste de la segunda transformación	50.000.000 "
	<hr/>
Coste total de la maquinaria	54.750.000 ptas.

En cuanto al coste de la obra civil, en el supuesto de que el equipo industrial total y maquinaria sean dos conceptos equivalentes, es el siguiente:

$$(0,1) (54.750.000) = 5.475.000 \text{ ptas.}$$

Mientras que los gastos de primer establecimiento representan:

$$(0,05) (54.750.000) = 2.737.500 \text{ ptas.}$$

Por otra parte, si entendiéramos por equipo industrial total a la suma de la maquinaria, obra civil y los gastos de primer establecimiento, entonces el coste de la obra civil en tal caso no es el calculado anteriormente sino el siguiente:

$$X = (0,1) (54.750.000 + 2.737.500 + X) \quad X = 6.400.000 \text{ ptas.}$$

siendo X el coste que estamos calculando.

No obstante, nos inclinamos por el primer cálculo realizado, resultando en tal caso el coste total correspondiente a este apartado de: 62.962.500 ptas.

Apartado 2.º En él se calcula el capital necesario para cubrir los gastos que se derivan de la existencia de unidades en las diversas colas, así como los derivados del tiempo de inactividad de la segunda transformación:

A) Antes de la etapa de adaptación existen, como se dijo en el Apéndice primero, un número medio de unidades igual a: 0,405.

El precio de las unidades en esta cola podemos deducirlo de la siguiente forma; dado que después de la etapa de adaptación, el material necesario para la fabricación de una unidad vale 1.000 pesetas, esta misma materia antes de dicha etapa valdrá 900 pesetas; como se pierde el 20 por 100 de materia en esta fase, el coste total de la materia a la entrada de esta fase es de $900/0,8 = 1.125$ pesetas, y considerando la recuperación como una realización positiva de materia, la materia prima necesaria que debe adquirirse en el mercado para cada unidad se valora en:

$$(1.125) (1 - 0,01) = 1.115 \text{ ptas.}$$

por tanto, el coste diario que representa esta cola es de:

$$(1.115) (0,405) (2,5)/(100) = 11,25 \text{ ptas.}$$

B) En la cola correspondiente a la primera transformación tenemos un número medio de unidades: 3,1 que representa un gasto diario de 78,50 pesetas como vimos en el apéndice 1.º

C) Por último, como también vimos en dicho apéndice, el gasto diario debido a la existencia en cola de unidades y por el tiempo de inactividad de la segunda transformación, representa 1.455 pesetas/día.

El gasto diario por todos estos conceptos es, pues:

$$10,85 + 78,50 + 1.455,00 = 1.544,35 \text{ ptas/día.}$$

Si suponemos que podemos conseguir un interés del 3 por 100 anual, el capital inicial necesario para cubrir dichos gastos diarios será el siguiente:

$$C = (1.544,35) (1 - r^{360})/i$$

siendo:

$$i = 0,095/360 \quad \text{y} \quad r = 1/(1 + i)$$

dado que i es lo suficientemente pequeño frente a la unidad, podemos suponer que, aproximadamente, se cumple:

$$1 + i = e$$

por lo que la fórmula anterior se nos convierte en:

$$C = (1.544,35) (1 - e^{-360 i})/i$$

haciendo operaciones en la última fórmula se obtiene que:

$$C = 540.000 \text{ ptas.}$$

Apartado 3.º En él se va a calcular el capital necesario para cubrir durante el primer año los gastos de almacenamiento y la adquisición inicial de materia prima, para asegurar la producción durante ese año.

A) Cálculo del capital inicial necesario para cubrir durante el primer año los gastos de almacenamiento. Se supondrá que es posible conseguir un 3 por 100 de interés anual para dicho capital.

Como hemos supuesto a lo largo de todo el estudio, se fabrican 5.000 unidades en los 300 días hábiles del año; en los cálculos que siguen, a a fin de simplificar el método, supondremos que las 5.000 unidades se producen durante los 360 días del año a un ritmo ficticio inferior al real, cuyo valor es: $5.000/360 = 13,8$ unidades/día.

La aproximación realizada será siempre por exceso, a fin de ponernos en el caso más desfavorable. Para ello supondremos que el almacenamiento diario se realiza de una vez, y que, hipotéticamente, al principio de cada día almacenamos esta mercancía, producida durante toda la jornada anterior, asimismo supondremos que los pagos correspondientes a almacenamiento se realizan al principio de cada día.

Llamando X a la cantidad que hay que abonar diariamente, cuyo valor es:

$$X = (5.740) (2,5) (h) = (100) (143,40) (h)$$

donde $h = 13,8$ son las unidades producidas por día, implica

$$X = 1.980 \text{ ptas/día.}$$

El capital inicial necesario será:

$$C = (X) (1 + 2r + 3r^2 \dots\dots\dots + 360r^{359})$$

donde $r = 1/(1 + i)$, e, $i = 0,095/360$, es el interés diario en tanto por uno equivalente al 3 por 100 anual.

Sumando la serie y haciendo las aproximaciones:

$$(1 - r) = i; (1 + i) = e^i, \text{ resulta:}$$

$$C = (X) [(1/i) - (360 e^{-360i}) - (e^{-360i}/i)]/(i)$$

sustituyendo los valores ya indicados en la fórmula, obtenemos un capital:

$$C = 118.200.000 \text{ ptas.}$$

(Apreciamos este resultado como desorbitadamente elevado en relación con el capital correspondiente al equipo industrial; aclarado posteriormente por el señor Argamentería, se trata de un error en un tanto por ciento al enunciar el problema, donde dice un 2,5 por 100 ha de decir 0,25 por 100).

B) *Coste de la materia prima adquirida para el abastecimiento del primer año.*—Como se dedujo, el precio de la materia prima necesaria para producir una unidad es de: 1.115 pesetas, por lo que el capital para las 5.000 unidades es de:

$$5.000 \times 1.115 = 5.575.000 \text{ ptas.}$$

cantidad para la que, como se abona en un principio, no es preciso hacer cálculo de interés.

Apartado 4.º En el que se calculan los gastos derivados de la amortización de la maquinaria y de la obra civil, así como de los gastos de

primer establecimiento, de acuerdo con el tipo de interés del 6 por 100 y para los períodos indicados de cinco y veinte años, respectivamente.

Comenzaremos calculando las anualidades que corresponden por el sistema francés de amortización, para un interés (i) y un número de años (n), partiendo de un capital inicial C.

— Al final del año primero.—Anualidad (a); Interés $I_1 = C \cdot i$
 Resto $R_1 = C + I_1 - a$

— Al final del año segundo.—Interés $I_2 = R_1 \cdot i$
 Resto $R_2 = R_1 + I_2 - a$

— Al final del año K.—Interés $I_K = R_{K-1} \cdot i$
 Resto $R_K = R_{K-1} + I_K - a$

— Al final del año N.—Interés $I_n = R_{n-1} \cdot i$
 Resto $R_n = R_{n-1} + I_n - a = 0$

Por todo esto se deduce:

$$R_{n-1} = a / (1 + i) = a \cdot r$$

$$R_{n-2} = a \cdot r (1 + r)$$

$$R_0 = C = a \cdot r (1 + r + r^2 + \dots + r^{n-1}) = a \cdot r (1 - r^n) / (1 - r)$$

De las expresiones anteriores obtenemos el valor de la anualidad:

$$a = C (1 - r) / r \cdot (1 - r^n)$$

suponiendo que (i) es pequeño, podemos aproximar:

$$1 - r = i$$

$$r^n = e^{-n \cdot i}$$

$$r = 1$$

con lo cual

$$a = C \cdot i / (1 - e^{-n \cdot i})$$

con esta expresión pasamos a calcular:

A) Amortización de la maquinaria:

- Capital inicial = 54.750.000 ptas.
- Interés anual = 0,06 (en tanto por uno)
- Número de años = cinco

sustituyendo valores, la anualidad sale:

$$a = 12.650.000 \text{ ptas.}$$

B) Obra civil:

- Número de años = 20
- Capital inicial = 8.212.500 ptas.

sustituyendo:

$$a = 704.000 \text{ ptas.}$$

Debido a ambas anualidades deberemos de pagar el primer año una cantidad de $12.650.000 + 704.000 = 13.354.000$ pesetas; para cubrir esta anualidad debemos de contar con una parte del crédito solicitado, suponiendo que consigamos el 3 por 100 anual para dicha parte, ésta debe de ser:

$$13.354.000 / (1 + 0,03) = 12.970.000 \text{ ptas.}$$

Apartado 5.º En él se trata del problema de "stocks", minimizando la función de costes de almacenamiento y lanzamiento. Suponiendo que el primer año hemos producido 5.000 unidades, que en cada rafal vamos a lanzar (n) unidades, que el período del rafal es (T), que después de cada expedición quedarán en almacenamiento ($h = 5.000 - n$) unidades y llamando $N = 5.000$ unidades y ($\emptyset = 360$ días) podemos establecer la siguiente función de costes:

$$C_s = [(5.000 - n) (2,5/100) (360 \cdot n/5.000) 5.740 + \frac{1}{2} \cdot n \cdot 5.740 (2,5/100) (360 \cdot n/5.000)] (1 + 0,05) (5.000/n)$$

simplificando y dando valores, obtenemos para los costes una función lineal y decreciente con (n) y, por tanto su mínimo valor corresponde a $n = 5.000$ unidades, dando un coste de:

$$C_{sm} = 141.200.000 \text{ ptas.}$$

Este gasto se ha calculado sin tener en cuenta el interés del 3 por 100 anual que podemos sacar al capital capaz de cubrirlo si tenemos en cuenta dicho interés, y tal como se calculó en el apartado 3.º de la presente sección, necesitaremos un capital al principio de cada año de:

124.830.000 ptas.

Apartado 6.º Cálculo del crédito que es necesario pedir para la subsistencia durante los seis meses transcurridos desde la primera expedición hasta el reintegro por parte de los clientes.

A) *Correspondiente a materia prima.*—Supondremos que, pasado el primer año, el abastecimiento de ésta es continuo.

Cada día la empresa gastará en materia prima la cantidad de:

$1.115.13,8 = 15.900$ ptas.

por tanto, equivalen los seis meses actualizados al principio del segundo año a:

2.790.000 ptas.

que actualizados al principio del primer año son:

2.705.000 ptas.

este sería el capital a pedir en el momento de fundación de la empresa para subvencionar estos gastos.

B) Almacenamiento durante este período de las unidades producidas: actualizando al principio del segundo año

$C = 30.000.000$ ptas.

que actualizado al principio del primer año es:

$C = 29.100.000$ ptas.

C) Capital necesario durante los seis meses para cubrir los gastos derivados de la existencia de unidades en colas y tiempo de inactividad

de la segunda transformación. Como se dedujo en el apartado 2.º del presente apéndice, el coste diario que representan estos motivos es de:

1.544,35 ptas.

por lo que el capital actualizado al principio del segundo año para cubrir dichos gastos es de:

272.000 ptas.

que actualizado al primer año representa:

264.000 ptas.

Apartado 7.º En este apartado calcularemos las anualidades a que da lugar el préstamo inicial en concepto de compra de materia prima, almacenamiento de las unidades producidas, lanzamiento del primer rafal y gastos derivados de colas en inactividad de la segunda transformación; durante el año y medio en que en la empresa no hay entrada de dinero, dicho préstamo inicial es de:

— Gasto de colas año primero	540.000	pesetas
— Almacenamiento año primero	118.000.000	"
— Compra materia prima año primero	5.575.000	"
— Lanzamiento primer rafal	6.830.000	"
— Compra materia prima seis meses	2.705.000	"
— Almacenamiento seis meses	29.100.000	"
— Gasto de colas seis meses	264.000	"

en total representa este préstamo una cantidad siempre actualizada al momento de fundación de la empresa de:

163.014.000 ptas.

Esta cantidad la supondremos amortizable en veinte años, con un interés del 6 por 100 anual.

Aplicando las fórmulas obtenidas en el apartado 4.º del presente apéndice obtenemos que las anualidades son:

$$a = (163.014.000) (0,6)/(1/1,06) (1 - (1/1,06)^{20}) = 14.000.000 \text{ ptas.}$$

que actualizados al momento de fundación de la empresa, representan:

$$14.000.000/1,03 = 13.600.000 \text{ ptas.}$$

Apartado 8.º En él consideraremos el dinero que se ha pedido para cubrir las amortizaciones correspondientes al primer año, tanto de la maquinaria como de la obra civil, como de los gastos de primer establecimiento, y que en total suma:

$$\begin{array}{r} 13.600.000 \text{ ptas.} \\ + 12.970.000 \text{ "} \\ \hline 26.570.000 \text{ ptas.} \end{array}$$

Como es lógico, dicho préstamo habrá que amortizarlo, y bajo el supuesto de que proviene de la conquista del mercado, lo supondremos amortizable en veinte años, al interés anual del 6 por 100.

Aplicando la fórmula que nos da la anualidad, obtenemos para ésta un valor de: $a' = 2.280.000$ pesetas, actualizando dicha anualidad al momento de establecimiento de la industria, tendremos: $2.280.000/1,03 = 2.220.000$ pesetas.

Asimismo, esta cantidad deberá ser considerada como un nuevo crédito y amortizada en veinte años, lo que implica una anualidad de: $a'' = 190.000$ pesetas, que, actualizada, equivale a: $190.000/1,03 = 184.000$ pesetas. Procediendo análogamente, obtenemos unas anualidades de: 13.800 pesetas, 1.280 pesetas y el resto, que consideramos despreciables; por tanto, la anualidad real que hay que pagar será:

$$\begin{array}{r} 14.000.000 + 13.354.000 + 2.280.000 + 190.000 + 15.800 + \\ + 1.320 = 29.841.120 \text{ ptas.} \end{array}$$

que, actualizadas al momento del establecimiento, serán:

$$28.990.540 \text{ ptas.}$$

Apartado 9.º Debido a que a los veinte años y seis meses nos han de pagar la producción de un año entero (5.000 unidades) y en tal período

ya no hay gastos, podemos pedir un crédito en el momento de la implantación a pagar en esa fecha.

Si suponemos que el precio de una unidad es P, lo que nos abonen en la citada fecha será: $5.000 \times P$, capital que en el Banco nos puede producir durante seis meses, al 3 por 100 anual, una cierta cantidad, y, por tanto, al principio representará:

$$(5.000) (1,03)^{1/2} \cdot P = 5.100 \cdot P$$

Al Banco le pediremos anualmente un capital (A), a partir del principio del segundo año, a un interés del 6 por 100, a cuenta del capital de $5.100 \cdot P$, que contribuirá a rebajar las anualidades que debemos pagar.

Lógicamente, debe cumplirse entonces que:

$$A (1,06)^{20} + A (1,06)^{19} + \dots + A (1,06) = (1,06) A (1,06^{20} - 1)/0,06 = 58,2 \cdot A = 5.100 \cdot P$$

$$A = (5.100 \cdot P)/(58,2) = 87,4 \cdot P$$

Esta cantidad hay que rebajarla de las anualidades; en lo que se refiere al crédito inicial, también vendrá disminuida en una cierta cantidad, ya que la primera anualidad también viene disminuida; esta disminución del crédito será de:

$$87,4 \cdot P/1,03 = 85 \cdot P$$

al igual que anteriormente, esta disminución de capital inicial repercutirá en una disminución de las anualidades.

Utilizando la fórmula del apartado 4.º del presente apéndice y con un cálculo recurrente como el del último apartado, llegamos a que dicha nueva disminución repercute del siguiente modo:

$$\begin{array}{lll} a' = 7,3 \cdot P & \text{actualizada} & (7,3/1,03) \cdot P = 7,1 \cdot P \\ a'' = 0,61 \cdot P & \text{"} & (0,61/1,03) \cdot P = 0,59 \cdot P \\ a''' = 0,051 \cdot P & \text{"} & (0,051/1,03) \cdot P = 0,049 \cdot P \end{array}$$

Resumiendo el presente apéndice, obtenemos que el capital inicial debe ser el siguiente:

		Pesetas
Apartado	1.º	62.962.500
"	2.º	540.000
"	3.º (a)	118.000.000
"	3.º (b)	5.575.000
"	4.º	12.970.000
"	5.º	6.830.000
"	6.º (a)	2.790.000
"	6.º (b)	29.100.000
"	6.º (c)	264.000
"	7.º	13.600.000
"	8.º	2.420.000
"	9.º	— 92.739 . P
Total		255.052.080 — 92.739 . P

Las anualidades que hay que pagar se reducen a :

$$\begin{aligned}
 &14.000.000 + 13.354.000 + 2.280.000 + 190.000 + 15.800 + \\
 &+ 1.320 - 87,4 \cdot P - 7,3 \cdot P - 0,67 \cdot P - 0,051 \cdot P = \\
 &= 9.841.120 - 95.361 \cdot P
 \end{aligned}$$

puesto que P es igual a 31.600 pesetas, tal y como se obtiene en el apéndice 4.º, podemos calcular el capital inicial necesario, que será :

	255.052.080,00 ptas.
—	2.930.552,40 "
Total	252.121.527,60 ptas.

IV

Como hemos mencionado en el apéndice 3.º, los cobros de la mercancía lanzada a principio de año son reintegrados por parte de los clientes al cabo de seis meses. Reunamos, por otra parte, los gastos que tiene la empresa, actualizados al momento de recibir el ingreso por la mercancía vendida, que, en concepto de colas, inactividad, de la segunda transformación, de almacenamiento, lanzamiento del rafal, de adquisición de materia prima, pago de anualidades, reúne un total:

$$159.670.000 - 92,7 : P$$

que, actualizado al sexto mes, debe ser:

$$(159.670.000) (1,03)^{1/2} - (92,7) (1,03)^{1/2} \cdot P = \\ = 161.700.000 - 94 \cdot P$$

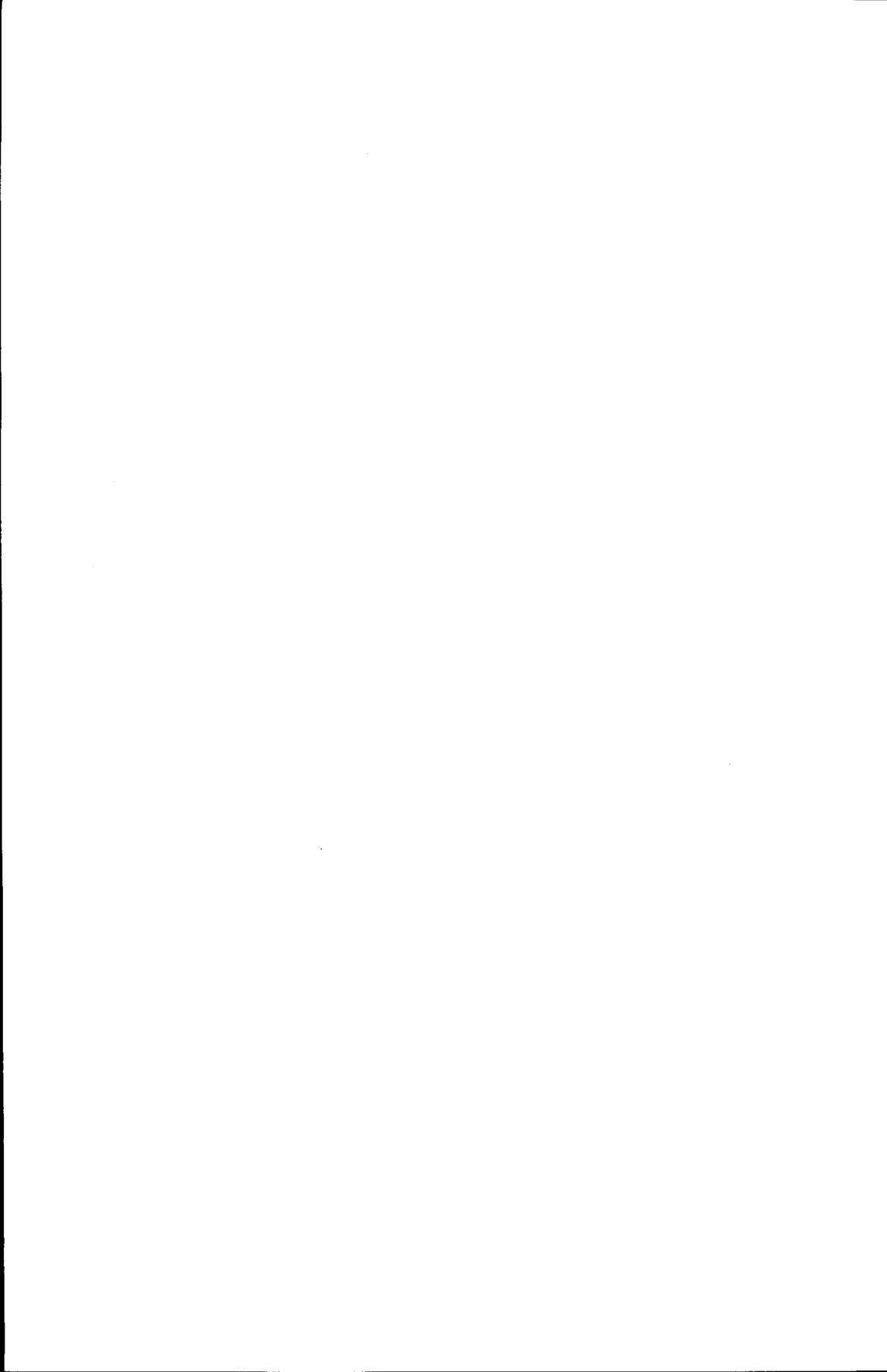
Por otro lado, como son 5.000 las unidades producidas y vendidas y P es su precio de venta, debe verificarse, teniendo en cuenta la marginalidad de la empresa, la siguiente relación:

$$5.000 \cdot P = 161.700.000 - 94 \cdot P$$

$$5.094 \cdot P = 161.700.000$$

y, por tanto, resulta un precio de:

$$P = 31.600 \text{ ptas.}$$



V

NOTA TEÓRICA I

ESTUDIO DE UN PROCESO ESTACIONARIO DE ESPERA, CON DOS ESTACIONES DE DIFERENTE TASA DE SERVICIO

Consideramos un sistema de línea de espera formado por una fuente, una fila y dos estaciones, cuyas tasas medias de servicio son μ_1 y μ_2 respectivamente, y sea γ la tasa media de llegada de unidades al sistema

Supondremos que tanto la llegada como la salida de unidades cumplen las hipótesis de Poisson.

Calcularemos la probabilidad de que en el sistema haya n unidades en el instante $t + \Delta t$, y en todo el desarrollo siguiente supondremos que Δt es arbitrariamente pequeño, por tanto y como la entrada y salida de elementos es de tipo poissoniano, es imposible que dicha entrada o salida de unidades al sistema sea superior a la unidad en el mencionado Δt .

Emplearemos la notación convencional en los problemas de espera, únicamente haciendo la observación de que llamaremos μ a la semisuma de las tasas medias de servicio de ambas estaciones.

$$\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

Dividiremos el estudio en cuatro supuestos:

Supuesto 1.º El número de unidades en el sistema es superior al número de estaciones del sistema.

$$n \geq 2$$

puesto que en el sistema hay más unidades que estaciones, en el instante t podremos asegurar que ambas estaciones estarán en servicio, y puesto que la probabilidad de que salga una unidad por S_1 es $\mu_1 \Delta t$, la probabilidad de que salga una unidad del sistema será:

$$(\mu_1 + \mu_2) \Delta t = 2\mu\Delta t$$

Lógicamente, la probabilidad de que no salga ninguna unidad del sistema es la complementaria de la anterior.

Para todos los supuestos, la probabilidad de entrada de un elemento al sistema en el intervalo Δt es la misma y tiene por valor $\lambda\Delta t$, así como la de que no entre ninguna unidad al sistema en ese intervalo es $1 - \lambda\Delta t$.

Para que en el instante $t + \Delta t$ haya n unidades, pueden darse las siguientes circunstancias:

A) Que en el instante t haya n unidades y que en el intervalo Δt no entre ni salga ninguna y la probabilidad será, por tanto:

$$P_n(t) (1 - \lambda\Delta t) (1 - 2\mu\Delta t)$$

B) Que en el instante t haya n unidades en el sistema y que en el intervalo Δt entre una y salga otra, con una probabilidad.

$$P_n(t) (\lambda\Delta t) (2\mu\Delta t)$$

C) Que en el sistema haya $n - 1$ unidades, que entre una y que no salga ninguna, con una probabilidad:

$$P_{n-1}(t) (\lambda\Delta t) (1 - 2\mu\Delta t)$$

D) Que en el sistema haya $n + 1$ unidades en el instante t y que en el intervalo no entre ninguna unidad y salga una. La probabilidad de que esto ocurra es:

$$P_{n+1}(t) (1 - \lambda\Delta t) (1 - 2\mu\Delta t)$$

La probabilidad de que en el instante $t + \Delta t$ existan n unidades en el sistema es la suma de las cuatro probabilidades anteriores. Al desarrollar dichas expresiones existen sumandos multiplicados por $(\Delta t)^2$ y, por ser el intervalo, como se indicó anteriormente, infinitesimal, podremos despreciar dichos términos, incluyéndolos en un término global $O(\Delta t)$. En consecuencia, podremos escribir:

$$P_n(t + \Delta t) - P_n(t) = [\lambda P_{n-1}(t) + 2\mu P_{n+1}(t) - (\lambda + 2\mu) P_n(t)]\Delta t + O(\Delta t)$$

Dividiendo ambos miembros por el intervalo y llevando al límite dicho cociente incremental cuando el intervalo tiende a cero, obtenemos la siguiente expresión:

$$(1) \quad \frac{d P_n(t)}{dt} = \Delta P_{n-1}(t) + 2 \mu P_{n+1}(t) - (\lambda + 2\mu) P_n(t)$$

Supuesto 2.º El número de unidades en el sistema es igual al número de estaciones, es decir $n = 2$. Asimismo, consideraremos los casos posibles de que en el sistema haya dos unidades, que serán 4, al igual que antes:

A) Que en el instante t haya dos unidades en el sistema y que no entre ni salga ninguna en el intervalo; la probabilidad de que esto ocurra será:

$$P_2(t) [1 - \lambda \Delta t] [1 - 2 \mu \Delta t]$$

B) Que en el instante t haya dos unidades en el sistema y que en el intervalo entre una y salga de otra, correspondiéndole una probabilidad:

$$P_2(t) [\lambda \Delta t] [2 \mu \Delta t]$$

C) Que en el sistema haya una unidad en el instante t y que en el intervalo entre una unidad y no salga ninguna:

$$P_1(t) [\lambda \Delta t] [1 - \mu \Delta t]$$

D) Que en el sistema haya tres unidades en el instante t y que en el intervalo salga una unidad y no entre ninguna.

$$P_3(t) [1 - \lambda \Delta t] [2 \mu \Delta t]$$

En el caso (C) ambas estaciones no están prestando servicio. Pueden ocurrir dos cosas: que en el instante t esté sirviendo a la unidad la estación S_1 , o que lo esté haciendo la S_2 ; en el primer caso la probabilidad de que salga la unidad del sistema es $\mu_1 \Delta t$, mientras que en el segundo es $\mu_2 \Delta t$. Como la probabilidad de que ocurra una cosa u otra es la misma, la de que salga la unidad del sistema se expresa del siguiente modo:

$$\frac{1}{2} \mu_1 \Delta t + \frac{1}{2} \mu_2 \Delta t = \mu \Delta t$$

Ahora se calcula la probabilidad total $P_2(t + \Delta t)$ como suma de las

cuatro probabilidades; asimismo calcularemos el cociente incremental $[P_2(t + \Delta t) - P_2 t] / \Delta t$ y lo llevaremos al límite cuando el intervalo tiende a cero, obteniendo como resultado:

$$(2) \quad \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) + 2\mu P_3(t) - [\lambda + 2\mu] P_2(t)$$

Supuesto 3.º El número de unidades en el sistema es $n = 1$; en este caso, el que en el instante $t + \Delta t$ haya una unidad en el sistema implica cuatro casos posibles:

A) Que en el instante t exista en el sistema una unidad y que en el intervalo no entre ni salga ninguna. En este caso, como sólo hay una unidad en el sistema, tendremos en cuenta lo dicho anteriormente en lo que se refiere a la salida de unidades del sistema, por consiguiente la probabilidad en este caso será:

$$P_1(t) [1 - \lambda \Delta t] [1 - \mu \Delta t]$$

B) Que exista una unidad en el sistema y que en el intervalo entre y salga una unidad, la probabilidad correspondiente será:

$$P_1(t) [\lambda \Delta t] [\mu \Delta t]$$

C) Que no exista ninguna unidad en el sistema y que en el intervalo entre una. Lógicamente, en este caso, puesto que no hay ninguna unidad en el instante t , no puede salir ninguna unidad del sistema en el intervalo, luego la probabilidad de que no salga ninguna unidad del sistema en dicho intervalo es la unidad. Por tanto, la probabilidad correspondiente a este caso es:

$$P_0(t) [\lambda \Delta t]$$

D) Que existan dos unidades, que no entre ninguna y que salga una, siendo la probabilidad de que esto suceda:

$$P_2(t) [1 - \lambda \Delta t] [2\mu \Delta t]$$

Haciendo lo mismo que en los supuestos anteriores, llegamos al fin a la siguiente expresión:

$$(3) \quad \frac{dP_1(t)}{dt} = 2 \mu P_2(t) + \lambda P_0(t) - [\lambda + \mu] P_1(t)$$

Supuesto 4.º Que en el instante $t + \Delta t$ no haya unidades en el sistema, es decir $n = 0$; pueden darse dos casos posibles:

A) Que en el instante t no haya unidades en el sistema y que no entre ninguna; por otro lado, como no hay unidades en el sistema, la probabilidad de que no salga ninguna es la unidad. La probabilidad correspondiente a este caso es:

$$P_0(t) [1 - \lambda \Delta t]$$

B) Que haya una unidad, que no entre ninguna y que salga una. La expresión de la probabilidad correspondiente es:

$$P(t) [1 - \lambda \Delta t] [\mu \Delta t]$$

Operando de la misma forma que en los casos anteriores, llegamos a la expresión siguiente:

$$(4) \quad \frac{dP_0(t)}{dt} = \mu P_1(t) - \lambda P_0(t)$$

Una vez examinadas todas las partes del problema pasamos a ver lo que sucede en el caso de proceso estacionario; como la probabilidad de que existan n unidades en el sistema no depende del tiempo, se cumplirá que $dP_n(t)/dt = 0$, para todo n .

Teniendo en cuenta esto último, las fórmulas (1), (2), (3) y (4) se nos transforman en las siguientes:

$$(1') \quad P_{n+1}(t) = [\lambda + 2\mu/2\mu] P_n(t) - [\lambda/2\mu] P_{n-1}(t) \quad n \geq 2$$

$$(3') \quad P_2(t) = [(\lambda + \mu)/2\mu] P_1(t) - [\lambda/2\mu] P_0(t) \quad n=1$$

$$(4') \quad P_1(t) = [\lambda/\mu] P_0(t) \quad n=0$$

Sustituyendo (4'), y (3') en (1') y llamando \emptyset a λ/μ tenemos al final:

$$(3'') \quad P_2(t) = \emptyset^2/2P_0(t)$$

Sustituyendo (4') y (3'') en (1'), para $n = 2$ obtenemos:

$$(4'') \quad P_3(t) = \emptyset^3/2!2P_0(t)$$

Acudiendo a la certeza matemática tenemos:

sustituyendo cada sumando en función de $P_0(t)$ y hallando la suma de la

$$P_0 + P_1 + \dots + P_n + \dots = 1$$

serie resultante obtenemos el siguiente valor de $P_0(t)$.

$$P_0(t) = (2 - \emptyset) / (2 + \emptyset)$$

Calculemos, por último, el número medio de unidades que hay en la cola del sistema; teniendo en cuenta que hay dos estaciones en el sistema, resulta:

$$v = 0 \cdot P_2 + 1 \cdot P_3 + 2 \cdot P_4 + \dots + (n - 2) \cdot P_n + \dots$$

Sustituyendo P_2, P_3, \dots por su valor en función de P_0 y sumando la serie resultante obtenemos:

$$v = \emptyset^3 / (4 - \emptyset^2)$$

como resultado final.

NOTA TEÓRICA II

Definimos día como una de las 360 partes iguales en que dividimos el año. Suponemos que el año tiene 300 días laborables, y definimos entonces día laborable como la trescientasava parte del año.

Con las dos definiciones anteriores vamos a calcular a efectos financieros la equivalencia de un coste/día laborable en un coste/día.

Supongamos que disponemos de un capital inicial C con el que queremos cubrir durante un año un gasto de (a) pesetas/día laborable, y que una institución bancaria nos ofrece un interés del 3 por 100 anual.

Con los supuestos anteriores deseamos calcular una cantidad (a') , que nos indique el desembolso que habría que efectuar cada día, de forma que sea cubierto por el mismo capital inicial (C) durante el año.

Vamos a adoptar la siguiente notación: (i_0) , interés equivalente por día en tanto por uno. (i) interés equivalente en tanto por uno por día laborable. (i) interés anual en tanto por uno. Evidentemente se ha de cumplir que:

$$1 + i = (1 + i_0)^{360} = (1 + i_e)^{300}$$

de donde tenemos los siguientes valores:

$$i_o = e^{(3/36.000)} - 1; i_e = e^{(3/30.000)} - 1$$

$$r_o = 1/(1 + i_o); \quad r_e = 1/(1 + i_e)$$

el valor del capital es:

$$C = a \cdot (1 - r_o^{360}) / (1 - r_o); \quad C = a' \cdot (1 - r_e^{300}) / (1 - r_e)$$

y sustituyendo (r_e) y (r_o) por sus respectivos valores tenemos:

$$C = a \cdot i / (1 - e^{-i/300}); \quad C = a' \cdot i / (1 - e^{-i/360})$$

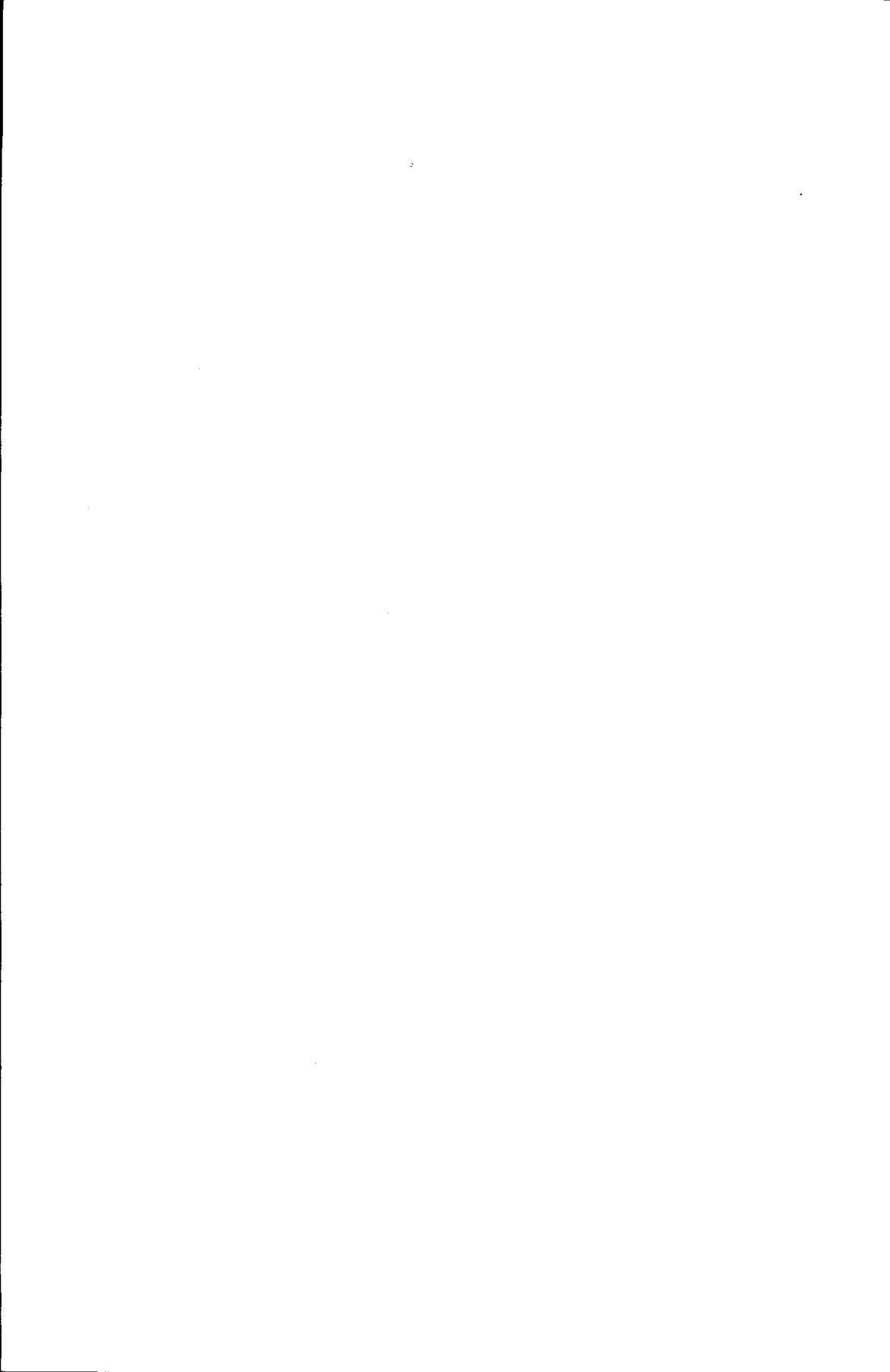
y aproximando la exponencial:

$$C = a \cdot i / (i/300) = 300 \cdot a; \quad C = a' \cdot i / (i/360) = 360 \cdot a'$$

luego podemos establecer la siguiente equivalencia:

$$a' = a \cdot (300/360)$$

que emplearemos en el apartado 3.º del primer apéndice.



VI

En el presente apéndice se reúnen los diferentes datos requeridos por la empresa objeto de estudio.

- 1.º *Número de estaciones y capacidad de las mismas para la primera transformación:*

Se dispondrán tres estaciones en paralelo, con una capacidad cada una de ellas de una unidad a la hora; la capacidad del conjunto se estima en 3,1 unidades a la hora.

- 2.º *Precio mínimo de venta por unidad:*

$$P = 31.600 \text{ ptas/unidad}$$

- 3.º *Cuántía del préstamo inicial necesario:*

$$C = 252.121.527,60 \text{ ptas.}$$

- 4.º *Esquema del proceso general:*

Se presenta en plano aparte, así como el cuadro de amortización.

- 5.º *Número medio de unidades en las diferentes colas:*

$$\bar{v}_1 = 0,405 \text{ unidades}$$

$$\bar{v}_2 = 3,1 \quad "$$

$$\bar{v}_3 = 15,6 \quad "$$

CUADROS DE AMORTIZACION
MAQUINARIA

AÑO	INTERES	CAPITAL AMORTIZADO	RESTO
1	3.280.000	9.720.000	45.030.000
2	2.720.000	10.280.000	34.750.000
3	2.080.000	10.920.000	23.830.000
4	1.420.000	11.580.000	12.250.000
5	750.000	12.250.000	—

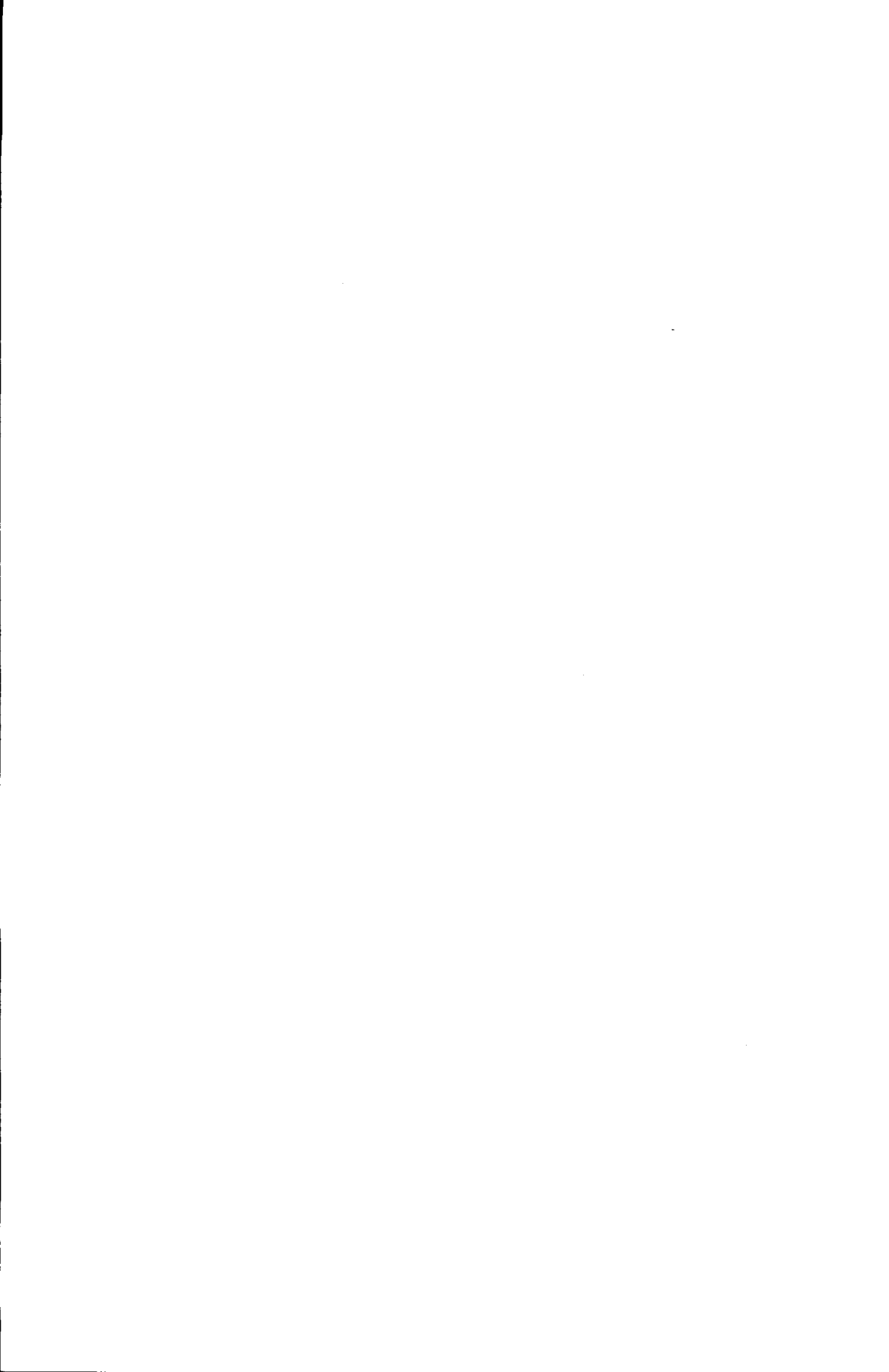
OBRA CIVIL

AÑO	INTERES	CAPITAL AMORTIZADO	RESTO
1	11.430.500	5.769.500	194.230.500
2	11.060.500	6.139.500	188.091.000
3	10.810.500	6.389.500	181.681.500
4	10.430.500	6.769.500	174.912.000
5	10.030.500	6.969.500	167.942.500
6	9.630.500	7.569.500	160.373.000
7	9.230.500	7.969.500	152.403.500
8	8.830.500	8.369.500	144.034.000
9	8.330.500	8.869.500	135.164.500
10	7.880.500	9.319.500	127.845.000
11	7.480.500	9.719.500	116.125.500
12	6.980.500	10.219.500	105.806.000
13	6.430.500	10.769.500	95.136.500
14	5.780.500	11.419.500	83.717.000
15	5.130.500	12.069.500	71.647.500
16	4.580.500	12.719.500	58.928.000
17	3.730.500	13.469.500	45.458.500
18	2.930.500	14.269.500	31.189.000
19	2.080.500	15.119.500	16.070.500
20	1.129.500	16.070.500	—

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

AMORTIZACION TOTAL

AÑO	INTERES	CAPITAL AMORTIZADO	RESTO
1	14.710.500	15.489.500	239.260.500
2	13.780.500	16.419.500	222.841.000
3	12.890.500	17.309.500	205.511.500
4	11.850.500	18.349.500	187.162.000
5	10.780.500	19.219.500	167.942.500
6	12.910.500	17.289.500	205.403.000
7	11.950.500	18.249.500	187.153.500
8	10.910.500	19.289.500	167.864.000
9	9.750.500	20.449.500	147.414.500
10	8.630.500	20.899.500	127.845.000
11	10.760.500	18.919.500	161.155.500
12	9.700.500	20.499.500	140.556.000
13	8.510.500	21.689.500	118.966.500
14	7.200.500	22.999.500	95.967.000
15	5.880.500	24.319.500	71.647.500
16	7.860.500	22.439.500	103.958.000
17	6.450.500	23.749.500	80.208.500
18	5.010.500	25.189.500	54.019.000
19	3.500.500	26.699.500	28.320.500
20	1.870.500	28.320.500	—



Anejo 2

I. PLANTEAMIENTO

Una empresa dedicada a la fabricación de material industrial está intentando un proceso de reorganización sobre la idea central de ser, en cuanto al fenómeno de producción se refiere, totalmente autosuficiente.

En la breve, pero significativa, historia de la empresa se observa la gran influencia de las reparaciones del equipo industrial en los costes generales de fabricación y, como consecuencia, en los beneficios finales.

Esta influencia se hace aún más patente por las necesarias reducciones del ritmo de producción a consecuencia de las averías y subsiguientes reparaciones. La idea de regularidad es, por tanto, lo fundamental en este proceso de reorganización.

El departamento de organización, a la vista de los informes de los técnicos superiores, viene aconsejando el montaje de una subcentral de reparaciones que, debidamente dotada de material y de personal cualificado, garantice un ritmo de producción uniforme, aunque sea inferior al que correspondería si todo el equipo industrial estuviera a pleno rendimiento.

Las disponibilidades de espacio son limitadas, pero lo suficientes para tales instalaciones que, aunque aparentemente secundarias, se observa que han de prestar un servicio básico.

Antes de tomar la decisión oportuna, la dirección de la empresa quiere tener un estudio comparativo, desde el punto de vista económico, teniendo en cuenta los costes actuales sobre la base de realizar tales tareas de reparación en el exterior de la empresa y lo que resultaría de proceder a la instalación de la subcentral.

II. DATOS BASICOS

La subcentral, que puede instalarse con su equipo industrial propio, tendría una capacidad de reparación del 5 por 100 del equipo industrial total como máximo y en las condiciones de tiempo que más adelante se especifican.

El problema de la inactividad de la subcentral es motivo de particular atención, ya que el personal afecto es de gran especialización y habría que considerar, si es posible, en casos de inactividad, ocupar a dicho personal en actividades generales. Por otra parte, la amortización de todo el material de la subcentral no puede ser olvidado, ya que la conservación para un pleno rendimiento del mismo se considera elemento básico y de total preferencia.

A través de la facturación presentada por los talleres y empresas que han venido reparando las máquinas, se llega a la conclusión de que el material empleado en cada reparación viene a ser, en cuanto a valor, del 1 por 100 del coste de origen de la máquina reparada.

No obstante lo anterior, también se ha comprobado que, dado que la vida útil de cada máquina es de siete años como término medio, a los seis años de vida las reparaciones sufren un incremento del 50 por 100 sobre el coste normal.

Dato representativo es que la empresa se fundó hace diez años y el equipo industrial fue prácticamente renovado en un 60 por 100 a los seis años, dado que los avances tecnológicos imponían tal renovación si se quería mantener una productividad adecuada con la de otras empresas de la especialidad, que constituían en el mercado la competencia desde el punto de vista comercial.

Las reparaciones en el exterior, que ha sido lo normal, y en razón a la distancia, es decir, a los costes de transporte, se observa que sobre el coste de reparación auténtico se incrementaban en un 12, 16 y 18 por 100, respectivamente, según se enviaran a reparar a las empresas que, a nuestros efectos, llamamos empresas A, B y C.

En relación con la subcentral propuesta por los servicios técnicos, la capacidad de A es, aproximadamente, un cuarto de la proyectada subcentral; la de B, de un medio, y la de C, 1,25, de la que podría tener la subcentral. Estas empresas tienen la ventaja sobre la subcentral de que realmente tienen todo su equipo industrial y sus instalaciones totalmente amortizadas, si bien el personal que precisan es análogo al pre-

visto para la subcentral. A, B y C dan preferencia absoluta a nuestra empresa.

Se ha analizado asimismo el efecto o incidencia fiscal que esta subcentral pudiera reportar, comprobándose que la misma es la correspondiente a la de toda la empresa; aproximadamente el 14 por 100 del valor añadido.

Según el proyecto de la Oficina de Estudios Técnicos, la subcentral supondría una inversión de seis millones de pesetas.

Los costes directos de producción (mano de obra, materias primas y capital) vienen a ser de 15.000 pesetas por unidad.

Los costes indirectos —salvo los gastos de naturaleza fiscal y la incidencia de las reparaciones o averías— son ahora de 3.000 pesetas por unidad.

El proyecto de la subcentral es de tal suerte, que la reparación de cada máquina que entre en la misma durará de dos a tres días, sobre la base de una jornada de trabajo de ocho horas, más una media de dos horas extraordinarias retribuidas con arreglo a lo que señala el convenio colectivo sindical, en vigor el 1 de abril de 1970 (el convenio colectivo es similar en este punto al correspondiente a Standard Eléctrica).

Simultáneamente pueden repararse tres máquinas, y el ritmo medio de averías es una máquina diaria.

Cada equipo de reparaciones está constituido por tres personas: un oficial cualificado, un oficial de tercera y un ayudante. La subcentral tendrá al frente un ingeniero técnico y un ingeniero superior, que a su vez tendrá otras misiones en la empresa, pudiendo imputarse a la subcentral un 40 por 100 de su actividad total.

A los efectos del tema del establecimiento de la subcentral puede admitirse que la empresa tiene un equipo industrial uniforme de 50 unidades, cuyo coste medio por unidad ha sido en origen de un millón de pesetas.

III. NATURALEZA DEL MERCADO

El volumen de producción es de tal número de unidades por día, que por ahora el mercado las admite a pesar de la competencia y, sobre todo, de la presencia de productos importados.

Una limitación presenta el mercado, y es que la elasticidad de la de-

manda es de tal naturaleza, que a 23.000 se pueden colocar 10 unidades cada dos días, y para precios superiores solamente 10 unidades cada tres días. A precio igual o inferior a las 22.500 pesetas está asegurada una demanda de 12 unidades por día e incluso cantidades mayores, siempre y cuando el precio sea inferior a las 20.000 pesetas, en cuyo caso la producción posible está siempre prácticamente absorbida.

Los servicios de Estadística han aportado unos datos que no precisan comprobación alguna, y, por tanto, son admitidos sin ulteriores comprobaciones.

El capital que podría obtenerse para invertir en la instalación de la subcentral procedería de una emisión de obligaciones que, dada la idiosincrasia del mercado de capitales, hay que pensar que el período de amortización no sería nunca superior a los cinco años, admitiendo como tipo de interés el que se viene aplicando para todas las aportaciones que tiene la empresa en los créditos que solicita, es decir, el legal en España en la fecha de 1 de abril de 1970 para operaciones a medio y largo plazo.

IV. CONCLUSIONES DEL INFORME

A la vista de todos los datos anteriores, la dirección de la empresa precisa conocer, a fin de tomar la decisión oportuna, lo siguiente:

- Influencia de las averías en el volumen de producción.
- Influencia de las averías en el coste indirecto.
- Ventaja, si la hay, desde el punto de vista económico (desde el técnico, parece indiscutible), de la subcentral sobre el sistema de subcontratar las reparaciones con empresas ajenas.
- Anualidades de amortización del capital invertido en total, con las diferenciaciones que se consideren oportunas, y sobre la base de que el equipo industrial representa sólo el 60 por 100 del total de las inversiones llevadas a cabo por la empresa, inversiones que, en lo que no son equipo, tiene un período de amortización de doce años.
- Rentabilidad del capital en todos los casos, a efectos de pensar en la posible emisión de acciones para etapas venideras de la empresa, y muy especialmente si se decidiera, en su día, llevar a cabo una ampliación.

INFLUENCIA DE LAS AVERIAS EN EL VOLUMEN DE PRODUCCION

Esta influencia la veremos desde la doble vertiente siguiente:

- a) Que las reparaciones se hagan en talleres ajenos a la empresa.
- b) Que la propia empresa monte una subcentral de reparación de averías.

Estas dos vertientes han de ser comparadas en lo que se refiere a la influencia de las averías en la producción.

Esta influencia se determina viendo cuál es el tanto por ciento medio del equipo que está en condiciones de producir.

La cuestión a resolver nos la planteamos como un problema clásico de teoría de colas, en el cual tenemos una serie de datos que nos servirán como hipótesis sacadas de la vida real de la empresa.

En los problemas de colas había siempre una serie de parámetros con una nomenclatura clásica, que será la que seguiremos en este estudio.

m... número de máquinas del equipo industrial = 50

n... número de máquinas que han ser reparadas

S... número de estaciones de reparación

λ ... tasa media de llegada

u... tasa media de servicio

$(\overline{m-n})$... número medio de máquinas en condiciones de funcionamiento perfecto

C_{sc} ... capacidad de reparación de la subcentral

La capacidad más conveniente para la subcentral será de tres estaciones, o sea de tres reparaciones conjuntas, tardando en cada una de ellas 2,5, valor que ha estimado como óptimo el Departamento Técnico de la empresa. Así pues, la subcentral tendrá una capacidad de:

$$C_{sc} = 3/2,5 = 1,2 \text{ reparaciones/día}$$

Haciendo el estudio comparativo con las reparaciones realizadas en talleres ajenos a nuestra empresa, cuya capacidad será la siguiente:

Capacidad del taller A:

$$C_A = \frac{1}{4} C_{sc} = 0,3 \text{ reparaciones/día}$$

Capacidad del taller B:

$$C_B = \frac{1}{2} C_{sc} = 0,6 = (2 \cdot 0,3) \text{ reparaciones/día}$$

Capacidad del taller C:

$$C_C = 1,25 C_{sc} = 1,5 = 0,3 \text{ reparaciones/día}$$

De estas cifras, sacadas de la información que nos han proporcionado nuestros servicios técnicos, se pueden sacar la siguiente conclusiones:

- En el taller A cada reparación dura, por término medio, $\frac{1}{0,3} = 3,3$ días, y el número de reparaciones simultáneas es de una; por tanto, las cifras para nuestro problema de colas serán:

— *Taller A*

$$S_A = 1$$

$$\mu_A = 0,3$$

— *Taller B*

- En este taller vemos que hay dos estaciones de servicio, durando, por término medio, cada reparación 3,3 días. En consecuencia:

$$S_B = 2$$

$$\mu_B = 0,3$$

— *Taller C*

- Cinco son las estaciones de servicio con que cuenta este taller, con una duración media por reparación de 3,3 días, por tanto:

$$S_C = 5$$

$$C = 0,3$$

Por consiguiente, en los talleres exteriores de la empresa, el número de estaciones de servicio será:

$$S = S_A + S_B + S_C = 8$$

y la tasa media de servicio será:

$$\mu = 0,3 \text{ reparaciones/día}$$

Sabemos que existen en nuestra industria 50 máquinas, de las cuales sufren avería o, lo que es lo mismo, tienen necesidad de reparación, una diariamente; la tasa media de llegada a los talleres, teniendo en cuenta que habrá 3,3 máquinas fuera de servicio por término medio, será:

$$\begin{aligned} m &= 50 \\ \lambda &= 1/46,7 \\ \mu &= 0,3 \\ \phi &= 1/15 \\ S &= 8 \\ \overline{(m-n)} &= 50-\bar{n} \end{aligned}$$

donde $\bar{m-n}$ será la incógnita que estamos buscando, es decir, el tanto por ciento del equipo industrial en condiciones de producir.

Si llamamos P_n a la probabilidad de que en un determinado instante haya n unidades esperando ser reparadas o en reparación, tendremos que:

$$P_n = C_m^n \phi^n P_0 \quad \text{para } n < s$$

$$P_n = C_m^n \phi^n P_0 \frac{m^n}{S \cdot S^{n-s}} \quad \text{para } n \geq s$$

Los cálculos con arreglo a los cuales se han efectuado estas probabilidades están debidamente detalladas en el cuadro A, adjunto a este estudio en las páginas finales. A partir de él, hemos obtenido los siguientes valores:

$$\Sigma \frac{P_n}{P_0} \cdot n = 123'913$$

$$\Sigma \frac{P_n}{P_0} = 35'913$$

Como ha de ser $P_n = 1$, tendremos que:

$$P_0 = \frac{1}{35,913} = 0,0278$$

Con los datos que tenemos en nuestro poder, estamos ya en condiciones de calcular nuestra incógnita $(\overline{m-n})$ del siguiente modo:

$$(\overline{m-n}) = 50 - \overline{n} = 50 - \sum P_n \cdot n = 50 - P_0 \sum \frac{P_n}{P_0} \cdot n = 50 - 0,0278 \cdot 123,913 = 46,54$$

Esta cantidad representa el 93,8 por 100 del total del equipo industrial, o sea que, cuando se reparan las máquinas en talleres ajenos a la empresa, el volumen máximo de producción es del 93,8 por 100.

Veamos ahora el caso de que las reparaciones se efectúen en una sub-central adjunta a nuestro propia empresa.

Planteando el problema de manera análoga al anterior, contaremos con los siguientes datos:

$$\begin{aligned} m &= 50 \\ \lambda &= 1/46,7 \\ \mu &= 1/2,5 = 0,4 \\ \phi &= \lambda/\mu = 1/20 \\ S &= 3 \end{aligned}$$

Calculando igualmente las probabilidades de la manera que se detalla en el cuadro B, obtenemos como resultados finales:

$$\sum \frac{P_n}{P_0} n = 57,768$$

$$\sum \frac{P_n}{P_0} = 15,9$$

Con lo cual resulta:

$$P_0 = 0,064$$

operando de manera similar a la anterior, obtenemos:

$$(\overline{m-n}) = 50 - 0,064 \times 57,768 = 46,31$$

que equivale al 92,62 por 100 del total de las 50 máquinas.

Después de este estudio comparativo llegamos a las siguientes conclusiones:

- a) Volumen de producción realizando las reparaciones en la subcentral:

92,62 por 100

- b) Volumen de producción realizando las reparaciones en los talleres denominados A, B y C, ajenos a la empresa:

93,08 por 100

Por tanto, vemos que el volumen de producción disminuirá ligeramente al instalar la subcentral, pero su interés, aparte técnico, ya que esta disminución es ínfima (0,46 por 100), quedará compensada por las ventajas económicas que a medio y largo plazo obtendremos de la instalación de la subcentral.

INFLUENCIA DE LAS AVERIAS EN LOS COSTES INDIRECTOS

Como se desprende de los datos dados para la realización del estudio, y considerando como origen de tiempos al instante en que se fundó la empresa, tenemos las siguientes condiciones:

- Sabemos que en los seis primeros años las máquinas sufren un número de averías y, por tanto, de reparaciones que son las normales. A estos primeros seis años les llamaremos años "a".
- Pasados estos primeros seis años se renueva el 60 por 100 del equipo, para mantener una productividad apropiada. Por tanto, durante el séptimo año, un 40 por 100 de las máquinas son las originales del momento de la fundación. Pero se ha comprobado por el Gabinete Técnico que a partir de los seis años de vida de las máquinas, las reparaciones sufren un incremento del 50 por 100 sobre el coste normal. A los años en que se da este tipo de condiciones se les conoce como años tipo "b".

- Al finalizar el séptimo año, dadas las exigencias del mercado y debido a los avances tecnológicos, se debe renovar el 40 por 100 de las máquinas (las que todavía quedan desde la fundación) y, por tanto, los costes debidos a reparaciones durante el octavo año son los normales.
- Este proceso será periódico, de tal manera que durante el año trece los costes de los materiales de reparación se incrementarán en un 50 por 100 para el 60 por 100 de las máquinas, que fueron las adquiridas al finalizar el sexto año. Estos serán los años llamados "c".
- Como vemos, al clasificar los años con arreglo a los costes de los materiales empleados, hemos obtenido diferentes tipos de años (en cuanto a costes), que se muestran de manera sistemática en el cuadro C.

Una vez definidas las hipótesis vamos a proceder a calcular los diversos costes para tratar de encontrar las ventajas económicas derivadas del establecimiento de la subcentral.

Hacemos esto de una forma comparativa entre el caso de las reparaciones en nuestra subcentral o en los talleres ajenos a nuestra organización.

Lo primero será ver el número de averías anuales, para lo cual consideramos que las máquinas sólo sufren averías durante el funcionamiento, por tanto, sólo podrán sufrir averías durante los 300 días que al cabo del año consideramos como hábiles. Así pues, el número de averías anuales será: $Av = (m-n) 300$

En la subcentral será:

$$Av = (50-3 \cdot 69) \times 300 \times \frac{1}{46,54} = 293 \text{ av/año}$$

En talleres ajenos a la empresa:

$$Av = 300 \text{ averias/año}$$

Costes anuales de los materiales

Vendrán definidos por costes anuales de los materiales de reparación igual a $C = \text{número anual de averías por coste de cada avería}$.

Como dato tenemos que el coste medio por máquina es de un millón de pesetas, y, por medio de un estudio estadístico, se ha llegado a la con-

clusión de que el coste medio de los materiales en cada avería es del 1 por 100 del valor de la máquina, o sea que el coste por avería se puede estimar en 10.000 pesetas.

Los costes anuales de los materiales de reparación oscilarán con la clasificación que hemos hecho de los diversos años por los que atraviesa la empresa. De esta forma, tendremos:

Año tipo "a"

$$\text{Costes anuales de los materiales ...} \left\{ \begin{array}{l} \text{En la subcentral:} \\ 293 \times 10.000 = 2.930.000 \text{ ptas.} \\ \\ \text{En talleres ajenos:} \\ 300 \times 10.000 = 3.000.000 \text{ ptas.} \end{array} \right.$$

Año tipo "b"

$$\text{Costes anuales de los materiales ...} \left\{ \begin{array}{l} \text{En la subcentral:} \\ 0,4 \times 293 \times 15.000 + 0,6 \times 293 \times 10.000 = \\ = 3.520.000 \text{ ptas.} \\ \\ \text{En talleres ajenos:} \\ 0,4 \times 300 \times 15.000 + 0,6 \times 300 \times 10.000 = \\ = 3.900.000 \text{ ptas.} \end{array} \right.$$

Año tipo "c"

$$\text{Costes anuales de los materiales ...} \left\{ \begin{array}{l} \text{En la subcentral:} \\ 0,6 \times 293 \times 15.000 + 0,4 \times 293 \times 10.000 = \\ = 3.810.000 \text{ ptas.} \\ \\ \text{En talleres ajenos:} \\ 0,6 \times 300 \times 15.000 + 0,4 \times 300 \times 10.000 = \\ = 3.900.000 \text{ ptas.} \end{array} \right.$$

Costes anuales por mano de obra

Los costes de la mano de obra vendrán definidos por:

C_{mo} = Coste diario de un equipo de reparación por tiempo medio de reparación de una avería por número de averías anuales.

Podrá observarse que esta fórmula sería válida para los talleres ajenos a la empresa, en los que pagamos la mano de obra correspondiente al tiempo que los empleados de estos talleres dedican a reparar nuestras

máquinas, pero no sería válida para el caso de la subcentral si cuando no hay máquinas averiadas los empleados los tenemos parados.

Pero teniendo en cuenta que durante el tiempo de inactividad de la subcentral, los empleados de la misma se emplean en otras funciones, la fórmula antes citada será válida en ambos casos.

Los costes diarios de un equipo de reparación son de:

$$C_d = \left(\frac{1}{3}\right) 0,4 I_s + \left(\frac{1}{3}\right) I_t + 0_c + 0_{3^o} + A_y$$

siendo $I_s, I_t, 0_c, 0_{3^o}, A_y$ los costes diarios del trabajo efectuado por un ingeniero superior, un ingeniero técnico, un oficial cualificado, un oficial de tercera y un ayudante, respectivamente.

Los días de trabajo remunerables por año, según la legislación vigente, serán:

Días al año	365
Paga extra Navidad	30
Paga extra 18 de Julio	15
<hr/>	
Total	410 días remunerables/año

Si tenemos en cuenta que la legislación laboral establece el derecho de 20 días de vacaciones remuneradas, el número de días hábiles es de 280; si a esto hay que añadir dos horas extraordinarias al día, vemos que habrá que sumar 560 horas extraordinarias al año.

Según el convenio colectivo sindical del 1 de abril de 1970, las cotizaciones son las siguientes:

Oficial cualificado:	$12,75 + 8,96 = 21,71$ ptas/h.
Oficial de tercera:	$12,75 + 6,55 = 19,30$ ptas/h.
Ayudante:	$12,75 + 4,87 = 17,62$ ptas/h.

Gastos de remuneración total horaria:	$21,71 + 19,30 + 17,62 = 58,63$ ptas/h.
Gastos de remuneración total diaria:	$8 \times 58,63 = 469,04$ ptas.
Gastos de remuneración total anual:	$410 \times 469,04 = 192.306,40$ ptas.

Según el citado convenio, la retribución de las horas extras será con arreglo a lo siguiente:

$$\text{Cotización de una hora extra: } \frac{J_n \times 8 \times 410}{2.296} = 1,428 \times J_n$$

donde J_n es el jornal horario. Con arreglo a esta fórmula, llegamos a la siguiente relación:

Oficial cualificado:	$21,71 \times 1,428 = 31,0088$ ptas/h. extra
Oficial de tercera:	$19,30 \times 1,428 = 27,5604$ ptas/h. extra
Ayudante:	$17,62 \times 1,428 = 25,1614$ ptas/h. extra
Total horario:	$31,0088 + 27,5604 + 25,1614 = 83,7306$ ptas.
Total anual:	$560 \times 83,7306 = 46.889,10$ ptas.

Por tanto, la cantidad anual por mano de obra será:

$$\begin{aligned} \text{Costes totales por mano de obra de los productores} &= C_{mo} + C_{hex} \\ &= 192.306,40 + 46.889,10 = 239.195,70 \text{ ptas.} \end{aligned}$$

Por otro lado hemos de tener en cuenta los gastos ocasionados por la retribución del ingeniero superior y el ingeniero técnico. Estos tendrán otras misiones en la empresa por lo que sólo un 40 por 100 de su retribución será imputable a los gastos de mano de obra de reparación.

Según el citado convenio colectivo del 1 de abril de 1970 remuneración para un ingeniero superior es:

$$3.501,75 + 8.962,15 = 12.473,96 \text{ ptas/mes}$$

y para el ingeniero técnico:

$$3.207,75 + 8.219,86 = 11.427,61 \text{ ptas/mes}$$

Contando las pagas extraordinarias hay que pagar 13,5 meses, por lo que el total anual es:

— Costes de remuneración del ingeniero superior:

$$12.473,90 \times 13,5 = 168.397,65 \text{ ptas.}$$

— Costes de remuneración del ingeniero técnico:

$$11.427,86 \times 13,5 = 154.272,75 \text{ ptas.}$$

Las horas extras se cotizan según,

$$\frac{S_m \times 13,5}{2.296}$$

siendo S_m el sueldo mensual, por tanto:

Horas extras del ingeniero superior	73,344	ptas/h. ext.
Horas extras del ingeniero técnico	67,1920	ptas/h. ext.

Como existen 560 horas extras anuales, total de gastos por horas extras por ingeniero superior:

$$73,344 \times 560 = 41.072,64$$

Total gastos por horas extras ingeniero técnico:

$$67,192 \times 560 = 37.607,52$$

por tanto:

— Costes totales por remuneración ingeniero superior:

$$168.397,65 + 41.072,64 = 209.470,30 \text{ ptas.}$$

— Costes totales por remuneración ingeniero técnico:

$$154.272,75 + 37.697,52 = 191.880,27 \text{ ptas.}$$

Debemos de tener en cuenta que al coste de cada equipo de reparación hay que imputarle el 33,3 por 100 del 40 por 100 del sueldo del ingeniero superior y el 33,3 del ingeniero técnico, con lo que resulta que:

— Costes totales por remuneración del ingeniero superior y del ingeniero técnico en trabajos de reparación:

$$0,4 \times 0,33 \times 209.470,30 + 0,33 \times 191.880,27 = 91.889,50 \text{ ptas/año}$$

Sumando todos los costes obtenidos, tendremos:

— Costes totales por mano de obra, 331.085 ptas.

Con lo que los costes diarios por mano de obra son:

$$C_d = \frac{331.085}{280} = 1.182,40 \text{ ptas/día hábil.}$$

Una vez hecho este cálculo, será importante ahora en cada reparación conocer los costes por mano de obra. Habíamos visto que con la subcentral se tardan 2,5 días por término medio en cada reparación y en los talleres A, B, C la duración media es de 3,3 días.

Así:

— Costes de mano de obra en cada reparación en la subcentral:

$$2,5 \times 1.182,40 = 2.956 \text{ ptas.}$$

— Coste de mano de obra en cada reparación en los talleres:

$$3,3 \times 1.182,40 = 3.901,92 \text{ ptas.}$$

por tanto:

— Costes del conjunto de materiales y mano de obra por avería, haciendo las reparaciones en la subcentral son:

Año tipo "a" = $2.956 + 10.000 = 12.956,92$ ptas/avería.

Año tipo "b" = $2.956 + 0,6 \times 15.000 + 0,4 \times 10.000 = 15.956,92$ ptas/av.

Año tipo "c" = $2.956 + 0,4 \times 15.000 + 0,6 \times 10.000 = 14.956,92$ pts/av.

— Costes del conjunto de materiales y mano de obra por avería, haciendo las reparaciones en talleres ajenos a la empresa:

En este caso tendremos:

Año tipo "a" = $3.901,92 + 10.000 = 13.901,92$ ptas/avería.

Año tipo "b" = $3.901,92 + 0,6 \times 15.000 + 0,4 \times 10.000 = 16.901,92$ ptas/av.

Año tipo "c" = $3.901,92 + 0,4 \times 15.000 + 0,6 \times 10.000 = 15.901,92$ ptas/av.

Pero aquí hemos de tener en cuenta los transportes, que sabemos que elevan los costes en un 12, 16 y 18 por 100, respectivamente, según sea el taller A, B, o C, adonde llevamos nuestras máquinas.

Así los costes por avería serán en cada taller, considerando el año tipo "a" como el más corriente, de la siguiente forma:

$$C_A = 1,2 \times 13.901,92 = 15.570,15 \text{ ptas.}$$

$$C_B = 1,6 \times 13.901,92 = 16.126,32 \text{ ptas.}$$

$$C_C = 1,8 \times 13.901,92 = 16.404,27 \text{ ptas.}$$

Lo lógico sería hacer las reparaciones en el taller A, que al ser el más cercano es donde los costes por avería resultan más baratos, pero esto no será posible en el momento que tengamos más de una avería que es lo que admite dicho taller.

Veamos un ejemplo de que en un momento haya seis unidades averiadas. Ya hemos visto al resolver el problema de líneas de espera que el taller A tiene una estación de servicio, dos el B y cinco el C, por tanto, al tener seis máquinas averiadas simultáneamente cubriríamos las estaciones de los dos nuevos talleres y dos del taller C. Así los costes por avería se pueden considerar como el coste medio, que será:

$$C = \frac{C_A + 2C_B + 3C_C}{6}$$

Como vemos, el coste por avería es función del número de máquinas que estén averiadas simultáneamente; luego la esperanza matemática del coste será:

$$E(c) = \bar{C} = \sum C_n P_n$$

Esta expresión ha tabulado en el cuadro D adjunto al final de este estudio y que da un coste medio total por avería de

$$C = 15.895,4 \text{ ptas/avería}$$

Hemos calculado hasta aquí los costes por avería tanto en el caso de la subcentral como en el de los talleres ajenos a la empresa, con ellos podremos calcular los costes anuales multiplicando los primeros por el número de averías al año así:

— Costes totales anuales con subcentral:

$$\text{Como tipo "a": } 293 \times 12.956,92 = 3.509.000 \text{ ptas.}$$

Como tipo "b": $293 \times 15.956,92 = 4.748.400$ ptas.

Como tipo "c": $293 \times 14.956,92 = 4.368.600$ ptas.

A estos costes habrá que sumarle la anualidad de amortización del empréstito pedido para construir la subcentral.

La anualidad se calcula de la siguiente manera:

$$a = \frac{C}{i} = \frac{6 \times 10^6}{0,065} = \frac{6 \times 10^6 \times 0,065}{1} = 1.450.000 \text{ ptas/año}$$

ya que el capital necesario para la creación de la subcentral es de seis millones de pesetas, que se amortizarán en cinco años con un interés del 6,5 por 100 anual, que es el legal para operaciones a medio y corto plazo.

Por tanto, durante los cinco años de amortización del capital invertido en la construcción de la central los costes serán:

Año tipo "a": 4.959.000 ptas/año

Año tipo "b": 6.398.400 ptas/año

Año tipo "c": 5.818.600 ptas/año

por otro lado:

— *Costes totales anuales con reparación en taller ajeno:*

Anteriormente hemos calculado la esperanza del coste por avería, multiplicando por las trescientas averías anuales y añadiendo los gastos extras de los años "b" y "c", resulta:

Año tipo "a": 4.768.620 ptas.

Año tipo "b": 6.180.000 ptas.

Año tipo "c": 5.720.000 ptas.

Con todas estas conclusiones anteriores y con ayuda del cuadro C, hemos confeccionado el cuadro E, que resume los gastos producidos por las averías durante los veinte primeros años de vida de la empresa.

Ventajas económicas de la instalación de la subcentral

De este cuadro E podemos sacar las conclusiones económicas necesarias que necesitamos para poder juzgar si es ventajosa la instalación de la subcentral de reparaciones.

En el cuadro antes citado podemos ver que, aunque durante los primeros años, justamente en los que se está amortizando el empréstito para la instalación de la subcentral, los costes aumentan, después éstos disminuyen de manera notable, por tanto, las ventajas económicas que se desprenden de la instalación de la subcentral son grandes, por lo que es aconsejable su instalación.

AMORTIZACION

Si nos proporcionasen los datos de que hemos comprado para la puesta en marcha de la empresa cincuenta unidades de maquinaria a un valor medio de un millón de pesetas cada una, por tanto la inversión inicial fue de 50.000.000 de pesetas, que representan el 60 por 100 del capital invertido. Se previno que esta inversión debía ser amortizada en siete años, tiempo que fue previsto para la duración del equipo.

En lo que se refiere a instalación, planta industrial y otros productos necesarios para la creación de la empresa se invirtió el 40 por 100 del capital, o sea, 33,3 millones de pesetas que deben ser amortizados en doce años.

Por tanto, el capital invertido es de 83.300.000 pesetas que la empresa tendrá que amortizar de la siguiente manera:

- El 60 por 100 en siete años, y
- El 40 por 100 restante en doce años.

Para realizar estas dos amortizaciones la empresa constituye unos fondos anualmente incrementados, de tal manera que al final de cada período la empresa tuviese el dinero necesario para renovarse.

Estos fondos se supondrá que rentan el 10 por 100 anual a la empresa.

En principio las anualidades habrían de durar indefinidamente, pues se suponía que al final de cada período de siete y doce años se gastarían los fondos acumulados y se empezarían otros nuevos para los próximos períodos.

El cálculo para determinar la anualidad correspondiente a la inversión de 50.000.000 de pesetas se realiza determinando una cantidad tal que a un interés del 10 por 100 durante siete años el capital acumulado sea de 50.000.000 de pesetas.

Por tanto:

$$aS \frac{0,1}{7} = 50 \times 10^6$$

$$a = \frac{50 \times 10^6 \times 0,1}{(1 + 0,1)^7 - 1} = 5.200.000 \text{ ptas.}$$

De la misma manera haremos la anualidad para la amortización del capital invertido en las instalaciones.

$$a = \frac{33,3 \times 10^6 \times 0,1}{(1 + 0,1)^{12} - 1} = 1.500.000 \text{ ptas.}$$

Así se puede ver fácilmente que en los primeros años la anualidad de amortización es:

$$5.200.000 + 1.500.000 = 6.700.000 \text{ ptas.}$$

Como ya hemos dicho antes, en el año sexto se renovará el 60 por 100 de la maquinaria industrial, lo que supone una inversión de 30 millones de pesetas, que se sacarán de los fondos acumulados.

Adjunto a este trabajo se encuentra un cuadro general de amortización, en el cual podemos ver que este cambio en el ritmo previsto no afecta a la economía de la empresa, al menos durante los siguientes quince años.

La subcentral es preciso mantenerla en el año décimo, lo que supondrá una inversión de seis millones de pesetas, que se conseguirán con la emisión de 12.000 obligaciones de 500 pesetas cada una, debiendo ser pagado este empréstito en los cinco años siguientes a la construcción de la subcentral, a un interés del 6,5 por 100 anual. Para ello la anualidad necesaria será de 1.450.000 pesetas, como ya fue calculado anteriormente.

Al mismo tiempo, se decide incrementar la anualidad para el período de amortización del capital de la empresa, con el fin de que al cabo del tiempo de la duración de la subcentral no sea necesario el volver a solicitar nuevamente un empréstito.

Así, pues, la anualidad debe incrementarse en:

$$\Delta = \frac{6 \times 10^6}{S \frac{0,1}{12}} = \frac{6 \times 10^6 \times 0,1}{(1 + 0,1)^{12}} = 276.000 \text{ ptas.}$$

Luego la nueva anualidad será de:

$$a = 6.700.000 + 276.000 = 6.976.000 \text{ ptas.}$$

RENTABILIDAD DEL CAPITAL

Los datos proporcionados por nuestro departamento de mercados, después de un estudio sobre la elasticidad de la demanda, nos arrojan los siguientes datos:

- Para precios de 23.000 ptas/unidad, el mercado absorbe 5 unidades diarias.
- Para precios superiores a 23.000, la absorción del mercado es de 3,3 unidades diarias.
- Para precios iguales o inferiores a 22.500 ptas/unidad, 12 unidades diarias e incluso más.
- Para precios inferiores a 22.000 ptas/unidad, el mercado absorbe todas las unidades que lancemos a él.

A la vista de estos datos podremos construir la curva de demanda, de la que sabremos los siguientes datos analíticos:

- asíntotas para:*

$$u = \frac{10}{3} \text{ para } 23.000 < P \leq \infty$$

$$p = 20.000 \text{ para } 12 < w < \infty$$

- la curva pasará por los puntos:

$$\begin{array}{ll} u = S & p = 23.000 \\ u \approx 12 & p = 22.500 \end{array}$$

Con esto podremos hacer una curva que cumpliera con todos los supuestos, pero hemos de tener en cuenta que el informe proporcionado por el Departamento de Estudios de Mercados nos da uno de estos datos como fluctuante y especifica que para 22.500 pesetas/unidad o precios ligeramente inferiores, el mercado absorbe 12 unidades o más; por tanto, no sería correcto el imponer de manera rígida que nuestra curva pasase por $w = 12$ para $p = 22.500$, y para una mayor comodidad, y al mismo tiempo exactitud, nos limitaremos a hallar una curva que cumpla las otras tres condiciones, si bien comprobaremos que para $w = 12$ los precios se encuentran en un entorno aceptable de 22.500 pesetas.

Parece ser que a simple vista la curva será una hipérbola. Para que la curva cumpla las dos asíntotas se verificará que:

$$\left(u - \frac{10}{3}\right) (p - 20) = d$$

donde hemos normalizado los precios en 1.000. Operando llegamos a:

$$pu - 20u - \frac{10}{3}p + \frac{200}{3} = M$$

haremos que esta curva pase por el punto $u = S$, $p = 23$, con lo que calculamos M .

$$S \cdot 23 - 20 \cdot S - \frac{10}{3} \cdot 23 + \frac{200}{3} = M = 21,7$$

Con lo cual la ecuación resultante será:

$$p = \frac{20u - 44,8}{u - 3,3}$$

Se puede comprobar que para $u = 12$ sale un valor de $p \approx 22.000$ pesetas, que es un valor aceptable que entra dentro de la aproximación proporcionada.

Una vez que hemos obtenido esto, trataremos de hallar el valor óp-

timo de unidades que debemos lanzar al mercado. De los estudios técnicos se desprende que esta conclusión se cumplirá cuando:

$$I'(x) = C'(x)$$

$$\text{luego: } I'(x) = p \left(1 - \frac{1}{\Sigma}\right) \text{ con } \Sigma = - \frac{p}{up'(u)}$$

$$\text{por tanto al ser: } p' = - \frac{21,2}{(u - 3,3)^2}$$

$$\text{al ser: } p'u + p - c' = 0$$

$$\text{luego: } u^2 - 37,4u - 101 = 0$$

Donde, como sabemos que $I'(x) = c'(x)$ tengo que $c' = 3.000 + 15.000$, que son los costes directos e indirectos por unidad.

De la resolución de la ecuación anterior obtenemos que el valor óptimo de fabricación es de:

$$u = 34,5 \text{ unidades/diarias}$$

a las que corresponde un precio de:

$$p = \frac{20 \times 34,5 - 44,8}{34,5 - 3,3} = 20.500 \text{ ptas/unidad.}$$

Por tanto, consideramos que estas 34,5 unidades son las que se producen con un ritmo de fabricación del 100 por 100.

Anteriormente habíamos llegado a la conclusión de que, dada la capacidad de servicio de los talleres A, B y C y de la subcentral, el rendimiento en cada caso era de 93,8 por 100 y del 92,62 por 100, respectivamente, por tanto:

— Trabajando con reparación en talleres ajenos a la empresa (rendimiento del 93,08 por 100).

$$u = 32 \text{ unidades}$$

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

— Trabajando con reparaciones en la subcentral (rendimiento del 92,62 por 100).

$$u = 31,7$$

Así, pues, puedo ya saber cuáles serán los ingresos trabajando 300 días al año.

— Ingresos con reparaciones en talleres ajenos a la empresa:

$$32 \times 300 \times 20.500 = 198.000.000 \text{ ptas/año}$$

— Ingresos con reparaciones en la subcentral:

$$31,7 \times 300 \times 20.500 = 196.150.000 \text{ ptas/año.}$$

Por otro lado, tendremos que los gastos serán la suma de los gastos de averías, amortización y gastos directos e indirectos, y, por tanto, los gastos serán:

— En año normal con reparación en talleres ajenos a la empresa:

Averías	4.768.620
Amortización	6.700.000
Directos e indirectos	173.000.000
	<hr/>
Total	184.468.620 ptas/año

Donde los gastos directos e indirectos se han obtenido de la forma siguiente:

$$18.000 \times 32 \times 300 = 173.000.000 \text{ de ptas.}$$

— En año normal con reparaciones en subcentral:

Averías	4.959.000
Amortización	6.976.000
Directos e indirectos	173.000.000
	<hr/>
Total	184.935.000 ptas/año

El valor *añadido* será:

— Con reparación en talleres:

$$198.000.000 - 184.468.620 = 13.531.380 \text{ ptas/años}$$

— Con reparación en la subcentral:

$$196.000.000 - 184.935.000 = 11.065.000 \text{ ptas/año}$$

El efecto fiscal será: El 14 por 100 del valor añadido en ambos casos, luego:

— Con reparación en talleres:

$$1.894.408 \text{ ptas/año}$$

— Con reparación en la subcentral:

$$1.549.100 \text{ ptas/año}$$

por tanto, los *beneficios* serán el valor añadido menos los efectos fiscales, por tanto:

— En talleres ajenos a la empresa:

$$13.531.380 - 1.894.408 = 11.636.972 \text{ ptas/año}$$

— En la subcentral:

$$11.065.000 - 1.549.100 = 9.515.900 \text{ ptas/año}$$

El capital será 83,3 millones en el caso de la reparación en los talleres ajenos a la empresa y de 89,3 en el caso de reparación en la subcentral, por tanto:

Rentabilidad:

— Caso de reparaciones en talleres ajenos a la empresa:

$$14 \text{ por } 100$$

— Caso de reparación en talleres de la subcentral:

10,6 por 100

Para la realización del cuadro hemos supuesto que la producción de la fábricas es de 37 unidades, ya que de esta manera, contando con las averías tanto en el caso de reparaciones en talleres ajenos a la empresa como en el caso de reparaciones en la subcentral el número de unidades lanzadas al mercado es de 34,5, que será el número óptimo.

CUADRO A

n	C^n_{30}	n	$\frac{n!}{8! 8^{n-8}}$	$\frac{P_n}{P_0}$	$\frac{P_n}{P_0} n$
0	1	1	—	1	0
1	50	$7,15 \times 10^{-2}$	—	3,575	3,575
2	1.225	59×10^{-4}	—	7,22	14,440
3	196×10^{-2}	$30,7 \times 10^{-5}$	—	7,19	21,570
4	231×10^{-3}	$34,8 \times 10^{-6}$	—	8,03	32,120
5	212×10^{-4}	$21,7 \times 10^{-7}$	—	4,57	22,850
6	159×10^{-5}	$13,4 \times 10^{-8}$	—	2,13	12,780
7	$102,5 \times 10^{-6}$	$12,8 \times 10^{-9}$	—	1,315	9,205
8	552×10^{-6}	$12,2 \times 10^{-10}$	1	0,672	5,376
9	$253,9 \times 10^{-7}$	$4,93 \times 10^{-11}$	1,122	0,143	1,287
10	375×10^{-8}	$4,7 \times 10^{-12}$	1,405	0,068	0,680
				$\Sigma \frac{P_n}{P_0} = 35,913$	$\Sigma \frac{P_n}{P_0} n = 123,913$
				Po	Po

CUADRO B

n	C ₅₀ ⁿ	n	n!		Pn Po	Pn Po
			3!	3n. ³		
0	1		—	—	1	0
1	50	5 × 10 ⁻²	—	—	2,5	2,5
2	1,225	25 × 10 ⁻⁴	—	—	3,06	6,12
3	196 × 10 ²	125 × 10 ⁻⁶	1	1	2,45	7,35
4	231 × 10 ³	625 × 10 ⁻⁸	1,33	1,33	1,92	7,68
5	212 × 10 ⁴	312,5 × 10 ⁻⁹	2,22	2,22	1,46	7,30
6	159 × 10 ⁵	156,2 × 10 ⁻¹⁰	4,44	4,44	—	6,66
7	102,5 × 10 ⁶	781,2 × 10 ⁻¹²	10,35	10,35	0,83	5,81
8	552 × 10 ⁶	390,6 × 10 ⁻¹³	27,60	27,60	0,594	4,752
9	253,9 × 10 ⁷	195,3 × 10 ⁻¹⁴	82,80	82,80	0,416	3,744
10	375 × 10 ⁸	97,6 × 10 ⁻¹⁵	276	276	0,284	2,840
11	487 × 10 ⁹	48,8 × 10 ⁻¹⁶	1.015	1.015	0,186	2,046
12	142,5 × 10 ¹⁰	24,4 × 10 ⁻¹⁷	4.060	4.060	0,048	0,576
					Σ Pn Po = 15,9	Σ Pn Po = 57,768

CUADRO C

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
El 60 por 100 de la ma- quinaria tie- ne (años) ...	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
El 40 por 100 de la ma- quinaria tie- ne (años) ...	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
Tipo de años.	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	c

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

CUADRO D

n	Cn	Pn	Cn Pn
1	15.550	0,099	1.545
2	15.835	0,2	3.167
3	15.930	0,202	3.420
4	16.031	0,223	3.740
5	16.114	0,127	2.140
6	16.160	0,0596	960
7	16.193	0,0365	590
8	16.217	0,0187	303
9	16.217	0,00188	30,4
			Σ Cn Pn = 150.895,4

CUADRO E

Año	Costes averías (ptas.)
1	4.768.620
2	"
3	"
4	"
5	"
6	"
7	5.722.350
8	4.768.620
9	"
10	"
11	5.248.000
12	6.387.400
13	6.007.600
14	5.248.000
15	"
16	3.728.000
17	"
18	"
19	"
20	4.937.400

R. ARGAMENTERIA GARCIA

Años	Anualidad en miles de pesetas	Cuota de interés en miles de pesetas	Cuota de amortización	Amortizado		Resto por amortizar	
				Número títulos	Capital en miles de pesetas	Número títulos	Capital en miles de pesetas
10	0	0	0	0	0	12.000	6.000
11	1.450	390	1.060	2.120	1.060	9.880	4.940
12	"	331	1.119	4.358	2.179	7.642	3.821
13	"	251	1.194	6.746	3.373	5.254	2.627
14	"	178	1.274	9.290	4.645	2.710	1.355
15	"	95	1.355	12.000	6.000	0	0

Años	Costes por averias en miles de pesetas.	Costes de amortización en miles de pesetas.	Costes variables en miles de pesetas.	Costes totales en miles de pesetas.	Ingresos en miles de pesetas.	Valor añadido en miles de pesetas.	Fisco en miles de pesetas.	Beneficios en miles de pesetas.	Rentabilidad en %.
A _a SSC	4.768'62	6.700	186.300	197.768'62	207.060	9.231'38	1.293	7.938'38	9'5
A _b SSC	6.199'2	"	"	199.199'20	207.000	7.800'8	1.090	6.710'80	8'1
A _c SSC	5.722'35	"	"	198.722'35	205.800	8.277'65	1.163	7.114'65	8'55
A _a CSCSA	4.959	6.976	185.220	197.155	"	8.645	1.210'3	7.434'70	8'3
A _b CSCSA	6.398'4	"	"	198.594'4	"	7.205'6	1.008'8	6.196'81	7'08
A _c CSCSA	5.818'6	"	"	198.014'6	"	7.785'4	1.090	6.695'45	7'5
A _a CSCA	3.509	"	"	195.705	"	10.095	1.413'3	8.681'7	9'7
A _b CSCA	4.948'4	"	"	197.144'4	"	8.655'6	1.211'78	7.443'8	9'1
A _c CSCA	4.368'6	"	"	196.564	"	9.236	1.293'04	7.943	8'8

A x SSC — Año x sin subcentral
 A x CSCSA — Año x con subcentral sin amortizar
 A x CSCA — Año x con subcentral amortizada

CUADRO DE AMORTIZACIONES DEL CAPITAL

(TODAS LAS CANTIDADES VIENEN DADAS EN MILLONES DE PESETAS)

Años	Anualidad	Capital correspondiente a la amortización general.	Capital correspondiente a la amortización de la subcentral.	Capital de amortización del 60% de la maquinaria.	Capital de amortización del 40% de la maquinaria.	Inversiones		Capital Restante
						Renovacion	Importe	
1	6'7	1'53	—	3'1	2'07	—	—	6'7
2	"	3'215	—	6'51	4'349	—	—	14'074
3	"	5'6	—	10'26	6'851	—	—	22'711
4	"	2'1	—	14'45	9'61	—	—	31'16
5	"	9'49	—	19'21	12	—	—	40'7
6	"	11'94	—	24'09	16'15	60%	30	22'18
7	"	14'75	—	3'1	20	40%	20	11'94
8	"	17'78	—	6'51	2'07	—	—	20'45
9	"	21'15	—	10'26	4'349	—	—	29'849
10	"	24'89	—	14'45	6'851	—	—	40'28
11	6'976	29	0'276	19'21	9'61	—	—	52'186
12	"	33'3	0'5796	24'09	12	—	33'3	30'759
13	"	1'53	0'914	30	16'15	60%	30	12'684
14	"	3'215	1'28	3'1	20	40%	20	1'685
15	"	5'6	1'712	6'51	2'07	—	—	9'982
16	"	2'1	2'155	10'26	4'349	—	—	17'954
17	"	9'49	2'633	14'45	6'851	—	—	27'544
18	"	11'94	3'21	19'21	9'61	—	—	38'06
19	"	14'75	3'81	24'09	12	—	—	48'74
20	"	17'78	4'37	30	16'15	60%	30	32'51

PERIODO QUE SE REPITE.

Anejo 3

A. PLANTEAMIENTO

I. Se trata de estudiar los aspectos básicos de la organización de una empresa que ha de dedicarse exclusivamente al montaje y ulterior venta de un tipo concreto de televisor comercial.

El tipo de televisor corresponde a una patente tal que el número de operaciones básicas para el montaje asciende a cuarenta y dos, que a su vez se concretan en siete grupos homogéneos que pueden desarrollarse simultáneamente. Cada uno de estos requiere la organización de un departamento propio.

Uno de estos grupos puede considerarse como crítico, en razón al tiempo que precisa, subordinándose todos los demás a él, permitiendo por tanto una planificación PERT, ya que se conocen, por empresas análogas, los tiempos más probables de cada una de las operaciones básicas con bastante exactitud.

Las operaciones básicas y los tiempos más probables son los especificados más adelante. No obstante, los estudios realizados indican que en algunos casos, muy excepcionales, el tiempo de estas operaciones puede reducirse en un 50 por 100 y en ciertos casos desfavorables puede llegar a aumentarse en un 25 por 100.

Es evidente que se trata de establecer la organización buscando un coste óptimo para cada grupo homogéneo.

II. Los problemas de financiación anejos a la organización de la empresa están condicionados, como es lógico, al mercado a que ha de dirigirse, es decir, a su capacidad de absorción y duración del mismo.

El análisis efectuado a base de aplicación de la teoría de muestras en sus distintas formas permite concluir que el mercado precisa 30.000 unidades anuales y, dado el grado de desabastecimiento en que se encuentra y nivel de vida, así como la tendencia de éste, hay seguridad casi absoluta de que tal demanda se mantendrá diez años, con una cadencia totalmente regular.

III. En el aspecto técnico del montaje del televisor se aprecia que el grupo crítico precisará del siguiente personal cualificado:

- 1 ingeniero superior,
- 2 ingenieros técnicos,
- 16 especialistas,

cuyas retribuciones anuales, según los convenios colectivos en vigor —y que parece que no han de experimentar variaciones sensibles—, son respectivamente 400.000, 200.000 y 100.000 pesetas.

En este aspecto de personal, la experiencia señala que el necesario para el montaje es la décima parte del preciso para la producción de los elementos correspondientes.

Las otras actividades o secuencias precisan en todo proporcionalmente a la crítica.

IV. El televisor, una vez dispuesto para la venta, presenta aproximadamente la siguiente distribución de costes: mano de obra, 30 por 100; materiales, 55 por 100; otros costes, 15 por 100.

V. Las instalaciones que se proyecten (edificios, equipos industriales, etc.) se harán teniendo en cuenta que el módulo de creación de puestos de trabajo se calcula en el momento presente en 500.000 pesetas.

Además, la previsión del planificador ha de orientarse hasta el tiempo límite de previsión del mercado, al final del cual deberá estar amortizado el conjunto de tales instalaciones.

Con los datos y especificaciones anteriores deberá concretarse la planificación de los siguientes puntos:

- 1.º Gráfico PERT para las actividades del montaje.
- 2.º Organigrama más adecuado para la empresa y presentación del mismo.
- 3.º Capital necesario para la financiación de las instalaciones.
- 4.º Plan de amortización del capital invertido en instalaciones, suponiendo que el tipo de interés se mantendrá igual al que es legal en España en 1968.

5.º Capital circulante preciso al comienzo de las actividades, suponiendo que el coeficiente de rotación del capital en este tipo de empresas es 4.

MONTAJE SIMPLIFICADO DEL TELEVISOR COMERCIAL

<i>Operaciones básicas</i>	<i>Tiempo más probable (minutos)</i>
Recepción del quinoscopio (tubo)	0,07
Recepción de los altavoces	0,03
Montaje del sintonizador de UVF	0,24
Montaje del sincronizador de UHF	0,20
Acoplo de la unidad de sintonizadores	0,12
Montaje del potenciómetro de interrupción y volumen.	0,05
Montaje del potenciómetro de contraste y brillo	0,05
Acoplo a un soporte de la unidad de sintonizadores y potenciómetros	0,06
Montaje del transformador de red	0,08
Montaje del puente rectificador	0,07
Comprobación de la unidad de alimentación	0,10
Montaje del transformador de líneas	0,32
Montaje del rectificador MAT	0,10
Acoplo del cable de la unidad MAT al quinoscopio ...	0,01
Comprobación de la unidad MAT	0,10
Montaje del convertor de equilibrio (balun)	0,07
Comprobación de la unidad acopladora	0,05
Montaje de las etapas de Frecuencia Intermedia	0,30
Montaje de la unidad de Control Automático de Ganancia	0,10
Montaje del paso mezclador	0,20
Montaje del paso de FI de audio	0,14
Montaje del circuito preamplificador de audio	0,12
Montaje del circuito push-pull de audio	0,14
Montaje del transformador de audio	0,13

<i>Operaciones básicas</i>	<i>Tiempo más probable (minutos)</i>
Acoplo de la unidad de audio	0,08
Comprobación del circuito impreso de la unidad de audio	0,10
Montaje de la etapa amplificadora de video	0,12
Montaje del separador de sincronismos	0,11
Montaje del amplificador de barrido vertical	0,13
Montaje del generador de barrido vertical	0,14
Acoplo de la unidad de deflexión vertical	0,15
Montaje de la unidad de control automático de frecuencia	0,11
Montaje del generador de barrido horizontal	0,15
Montaje del amplificador de barrido horizontal	0,12
Acoplo de la unidad de deflexión horizontal	0,09
Montaje del quinoscopio en la caja	0,30
Montaje de los altavoces en la caja	0,08
Montaje del soporte de sintonía en la caja	0,08
Montaje de los circuitos impresos en la caja	0,20
Montaje de la unidad MAT en la caja	0,15
Montaje de la unidad de alimentación en la caja	0,10
Comprobación del aparato	0,20

I. GRAFICO PERT PARA LAS ACTIVIDADES DEL MONTAJE

La programación PERT tiene por objeto la determinación de un grupo crítico, en razón al tiempo que precisa, subordinándose todos los demás a él.

Puesto que conocemos los tiempos más probables así como que, por estudios realizados, en casos muy excepcionales el tiempo de estas operaciones puede reducirse en un 50 por 100 (tiempo optimista) y en ciertos casos desfavorables puede llegar a aumentar en un 25 por 100 (tiempo pesimista).

Con estos datos puedo hallar el "tiempo esperado" de cada actividad, que es una media ponderada de los tiempos optimista, pesimista y más probable.

$$Te = \frac{Top + 4 \cdot Tmp + Tpe}{6}$$

siendo:

Te = Tiempo esperado para cada actividad

Top = Tiempo optimista = 0,5 Tmp

Tpe = Tiempo pesimista = 1,25 Tmp

luego:

$$Te = \frac{0,5 Tmp + 4 Tmp + 1,25 Tmp}{6}$$

siendo, por tanto, multiplicando los tiempos más probables por el coeficiente 5,75/6 obtenemos los "tiempos esperados" de cada actividad, los cuales se dan en la siguiente tabla:

MONTAJE SIMPLIFICADO DEL TELEVISOR COMERCIAL

<i>Operaciones básicas</i>	<i>Tiempo más probable (segundos)</i>
1.—Recepción del quinoscopio (tubo)	4,2
2.—Recepción de los altavoces	1,8
3.—Montaje del sintonizador VHF	14,4
4.—Montaje del sintonizador UHF	12,0
5.—Acoplo unidad de sintonizadores	7,2
6.—Montaje potenciómetro de interrupción y volumen ...	3,0
7.—Montaje potenciómetro de contraste y brillo	3,0
8. Acoplo a soporte de la unidad de sintonizadores y potenciómetros	3,6
9.—Montaje transformador de red	4,8
10.—Montaje puente rectificador	4,2
11.—Comprobación unidad alimentación	6,0
12.—Montaje transformador de líneas	19,2
13.—Montaje rectificador MAT	6,0
14.—Acoplo cable unidad MAT al quinoscopio	0,6
15.—Comprobación unidad MAT	6,0
16.—Montaje conversor de equilibrio	4,2
17.—Comprobación unidad acopladora	3,0
18.—Montaje etapas de Frecuencia Intermedia	18,0
19.—Montaje unidad de control automático	6,0
20.—Montaje paso mezclador	12,0
21. Montaje paso FI de audio	8,4
22.—Montaje circuito preamplificador de audio	7,2
23.—Montaje circuito puhs-pull de audio	8,4
24.—Montaje transformador audio	7,8
25.—Acoplo unidad de audio	4,8
26.—Comprobación circuito impreso de la unidad audio.	6,0
27.—Montaje etapa amplificadora de video	7,2
28.—Montaje separador de sincronismos	6,6
29.—Montaje generador de barrido vertical	7,8
30.—Montaje amplificador de barrido vertical	7,8

<i>Operaciones básicas</i>	<i>Tiempo más probable (segundos)</i>
31.—Acoplo unidad deflexión vertical	9,0
32.—Montaje unidad de control automático de frecuencia.	6,6
33.—Montaje generador de barrido horizontal	9,0
34.—Montaje amplificador de barrido horizontal	7,2
35.—Acoplo unidad deflexión horizontal	5,4
36.—Montaje quinoscopio en caja	18,0
37.—Montaje altavoces en caja	4,8
38.—Montaje soporte sintonía en caja	4,8
39.—Montaje circuitos impresos en caja	12,0
40.—Montaje unidad MAT en caja	9,0
41.—Montaje unidad alimentación en caja	6,0
42.—Comprobación del equipo	12,0

MONTAJE SIMPLIFICADO DEL TELEVISOR COMERCIAL

<i>Operaciones básicas</i>	<i>Tiempo esperado (segundos)</i>
1.—Recepción del quinoscopio (tubo)	4,025
2.—Recepción de los altavoces	1,725
3.—Montaje del sintonizador VHF	13,800
4.—Montaje del sintonizador UHF	11,500
5.—Acoplo unidad de sintonizadores	6,900
6.—Montaje potenciómetro de interrupción y volumen.	2,875
7.—Montaje potenciómetro contraste y brillo	2,875
8.—Acoplo a soporte de la unidad de sintonizadores y potenciómetros	3,350
9.—Montaje transformador de red	4,600
10.—Montaje puente rectificador	4,025
11.—Comprobación unidad alimentación	5,750

<i>Operaciones básicas</i>	<i>Tiempo esperado (segundos)</i>
12.—Montaje transformador de líneas	18,400
13.—Montaje rectificador MAT	5,750
14.—Acoplo cable unidad MAT al quinoscopio	0,575
15.—Comprobación unidad MAT	5,750
16.—Montaje conversor de equilibrio	4,025
17.—Comprobación unidad acopladora	2,875
18.—Montaje etapas Frecuencia Intermedia	17,250
19.—Montaje unidad de control automático	5,750
20.—Montaje paso mezclador	11,500
21.—Montaje paso FI audio	8,050
22.—Montaje circuito preamplificador de audio	6,900
23.—Montaje circuito push-pull de audio	8,050
24.—Montaje transformador de audio	7,475
25.—Acoplo unidad de audio	4,600
26.—Comprobación circuito impreso de la unidad audio.	5,750
27.—Montaje etapa amplificadora de video	6,900
28.—Montaje separador de sincronismos	6,325
29.—Montaje generador de barrido vertical	7,475
30.—Montaje amplificador de barrido vertical	7,475
31.—Acoplo unidad deflexión vertical	8,625
32.—Montaje unidad de control automático de frecuencia.	6,325
33.—Montaje generador de barrido horizontal	8,625
34.—Montaje amplificador de barrido horizontal	6,900
35.—Acoplo unidad deflexión horizontal	5,175
36.—Montaje quinoscopio en caja	17,250
37.—Montaje altavoces en caja	4,600
38.—Montaje soporte sintonía en caja	4,800
39.—Montaje circuitos impresos en caja	11,500
40. Montaje unidad MAT en caja	8,625
41.—Montaje unidad alimentación en caja	5,750
42.—Comprobación del equipo	11,500

El número total de operaciones básicas para el montaje del televisor se concreta en siete grupos homogéneos, según actividades afines y desde el punto de vista técnico, que pueden realizarse simultáneamente. Dichos grupos son los siguientes:

— Unidad de alimentación	9 10 11
— Unidad de deflexión horizontal	32 33 34 35
— Unidad MAT	12 13 14 15
— Unidad de deflexión vertical	27 28 29 30 31
— Unidad de audio	21 22 23 24 25 26
— Unidad de frecuencia intermedia	16 17 18 19 20
— Sintonizadores y potenciómetros	3 4 5 6 7 8

Además se consideran aparte:

— Recepción del quinoscopio	1
— Recepción de los altavoces	2

Los números indican las operaciones que constituyen cada grupo, de acuerdo con la numeración expresa en las tablas de tiempos.

Cada uno de estos grupos se ha ordenado en el gráfico PERT según los tiempos esperados.

Se ha intentado conseguir un camino crítico con el menor tiempo posible, para disminuir las holguras.

El camino crítico está formado por las actividades:

- 2 Recepción de los altavoces.
- 37 Montaje altavoces en la caja.
- 36 Montaje quinoscopio en la caja.
- 41 Montaje unidad alimentación en la caja.
- 39 (a) Montaje circuito impreso MAT en la caja.
- 40 Montaje unidad MAT en la caja.
- 39 (b) Montaje circuito impreso de audio en la caja.
- 39 (c) Montaje circuito impreso en FI en la caja.
- 39 (d) Montaje circuito impreso de sintonizadores en caja.
- 38 Montaje del soporte de sintonía en la caja.
- 42 Comprobación del aparato.

En este orden, invirtiéndose un tiempo esperado total de:

65,550 segundos

La actividad 39 (montaje de los circuitos impresos en la caja) se considera dividida en cuatro actividades, debido a que cuatro de los grupos formados (MAT, audio, FI, sintonizadores y potenciómetros) son de circuitos impresos. Se supone que el tiempo empleado en el montaje de estos cuatro grupos en la caja es el mismo para todos ellos, y, por tanto, dividiremos el tiempo esperado de esta actividad entre cuatro:

$$Te = \frac{11,500}{4} = 2,835$$

Cada vértice del gráfico PERT representa un objetivo alcanzado que queda definido por el "tiempo esperado" y por el "tiempo límite" del suceso en cuestión.

También hay actividades ficticias en nuestro gráfico que no suponen ningún gasto de tiempo.

Teniendo en cuenta todo lo dicho, llegamos al siguiente gráfico PERT (véase gráfico adjunto).

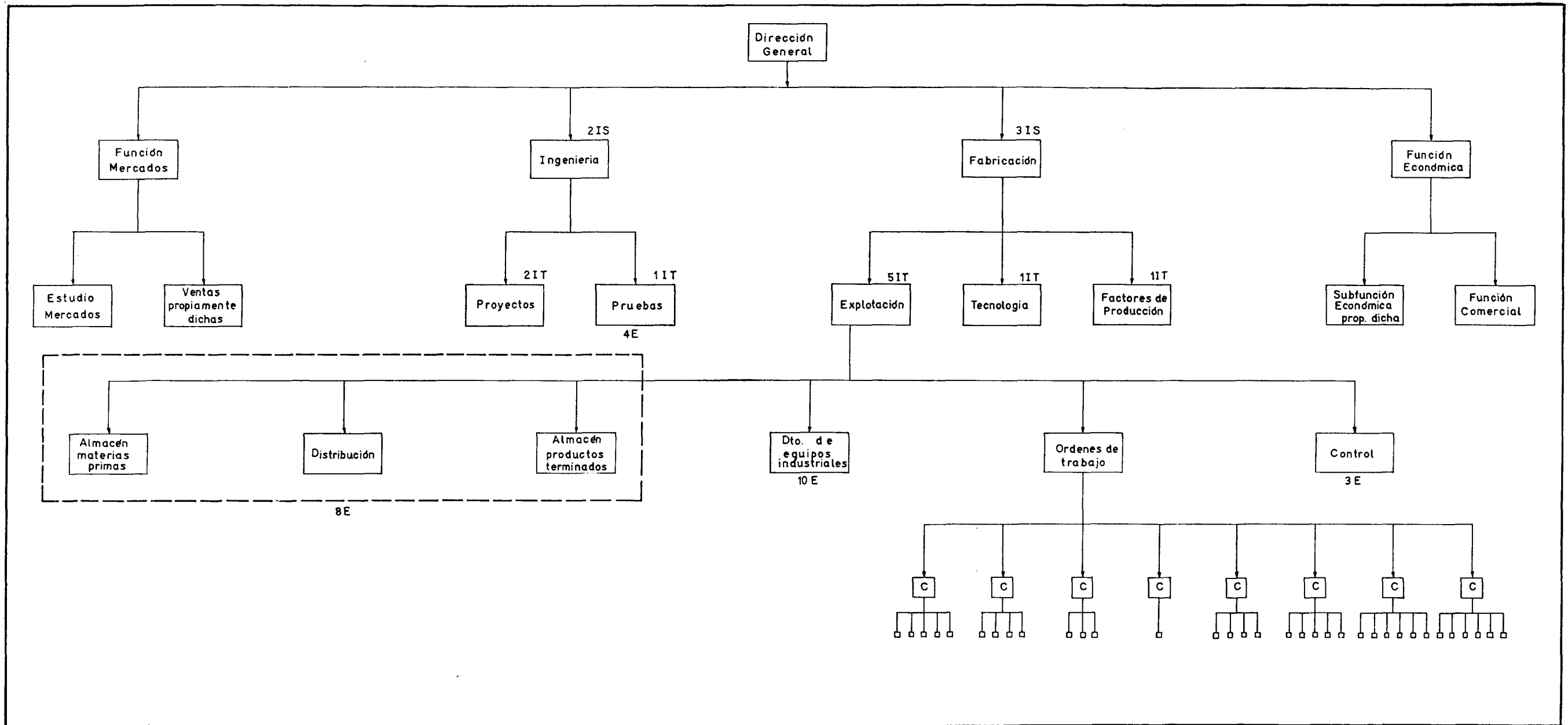
II. ORGANIGRAMA MAS ADECUADO PARA LA EMPRESA

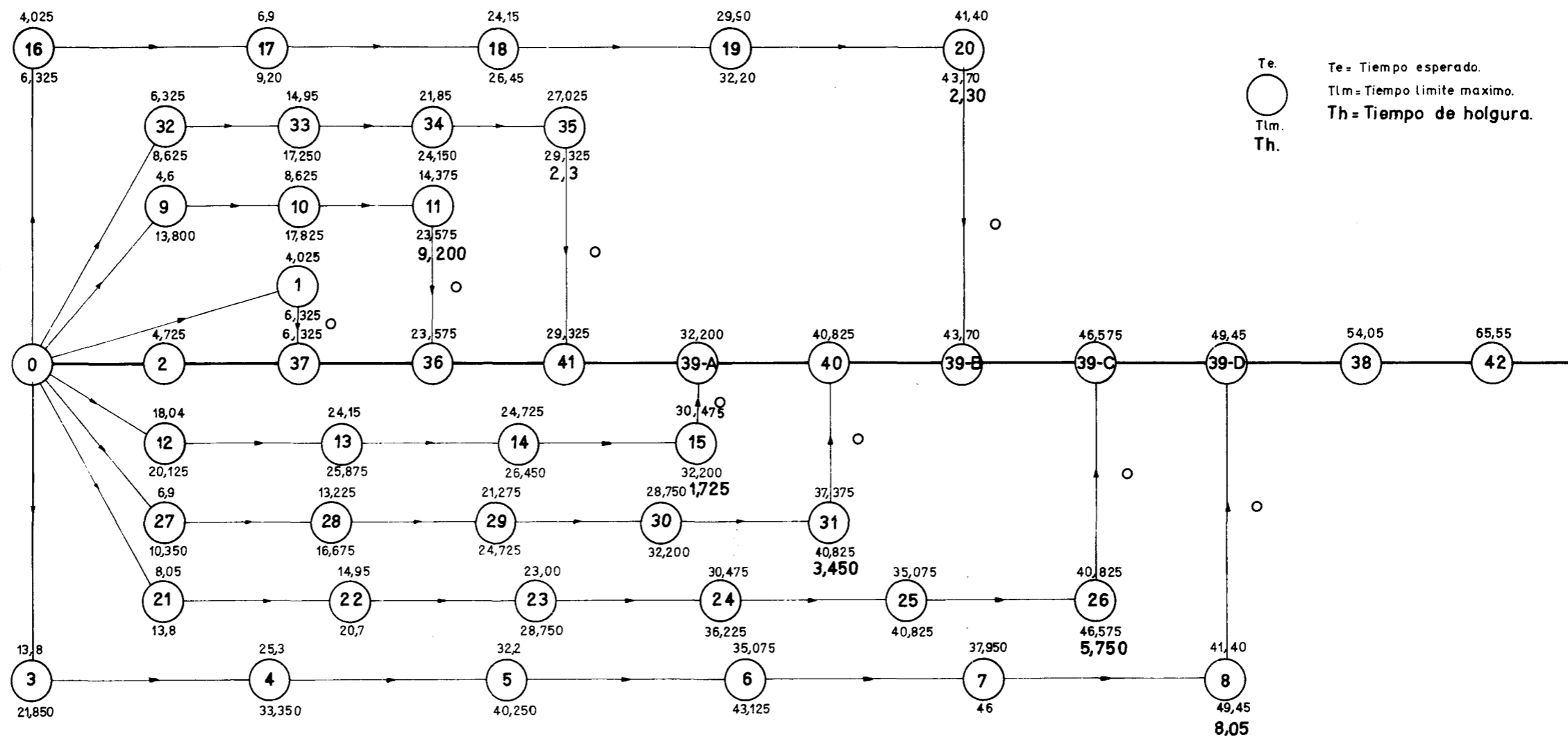
Tal como se muestra en el esquema adjunto, en este organigrama se tiene en cuenta el aspecto jerárquico y funcional.

En primer lugar nos encontramos con la Dirección General, que junto con dos subdirectores, uno encargado del aspecto técnico y el otro del aspecto comercial, dirigen las funciones de:

- Fabricación.
- Económica (comercial, administrativa y financiera).
- Ingeniería (proyectos y pruebas).
- Mercados (ventas y marketing).

Todo lo anterior corresponde a funciones de gobierno y funciones directivas.





A partir de aquí entramos en las funciones ejecutivas, de las que sólo hemos representado las correspondientes a la función de fabricación:

- Jefatura de montaje: en sentido imperativo.
- Almacén de materias primas: relacionado con el departamento de ventas.
- Control de calidad: de lo producido.
- Almacén de productos terminados: relacionado con el departamento de ventas.
- Distribución.

Por último, de la anterior Jefatura de montaje, que es la función más ejecutiva de todas, dependen los distintos grupos homogéneos, asociados a su vez en cinco grupos, y donde se representa el número de especialistas necesarios en cada uno, que se encuentra dirigido por un ingeniero superior, auxiliado en sus funciones por dos ingenieros técnicos.

III. CALCULO DEL CAPITAL NECESARIO PARA LA FINANCIACION DE LAS INSTALACIONES

Como el módulo de creación de puestos de trabajo para las instalaciones que se proyecten (edificios, equipos industriales, etc.) se calcula en el momento presente en 500.000 pesetas, el capital necesario para la financiación de las instalaciones vendrá dado por el producto de dicho módulo de creación de puestos de trabajo por el número de trabajadores. Veamos, pues, el personal necesario para realizar el montaje del televisor.

Puesto que el personal necesario para cada actividad es proporcional, según su tiempo esperado, al que precisa el grupo crítico, podemos calcularlo según la siguiente expresión

$$\frac{P_i}{P_c} = \frac{T_i}{T_c}$$

en donde:

P_i = Personal preciso para el grupo i -ésimo.

T_i = Tiempo preciso para el grupo i -ésimo.

Pc = Personal preciso para el grupo crítico.

Tc = Tiempo preciso para el grupo crítico.

Por tanto:

$$P_i = \frac{T_i}{T_c} \cdot P_c$$

De acuerdo con esta expresión podemos calcular el número preciso de trabajadores, agrupados según su categoría:

A) Ingenieros superiores.

En este caso Pc = 1; por tanto:

$$\begin{aligned} P_a &= P_c + P_i = 1 + \frac{1}{1,09212} (0,06706 + 0,23950 + 0,45026 + \\ &= 0,50774 + 0,62270 + 0,68018 + 0,68976 + 0,68975) = \\ &= 1 + 3,94696/1,09212 = 4,61 \end{aligned}$$

luego necesitamos cinco ingenieros superiores.

B) Ingenieros técnicos.

En este caso Pc = 2, por tanto:

$$\begin{aligned} P_b &= P_c + P_i = 2 + \frac{1}{1,09212} (0,06706 + 0,23950 + 0,45026 \\ &+ 0,50774 + 0,62270 + 0,68018 + 0,68976 + 0,68975) = \\ &= 2 + 7,89392/1,09212 = 9,22 \end{aligned}$$

luego necesitamos diez ingenieros técnicos.

C) Especialistas.

En este caso, Pc = 16 y considerando cada grupo por separado, es decir, que cada uno actúa independientemente de los restantes, resulta:

$$P_1 = \frac{0,06706}{1,09212} \cdot 16 = 0,98 \dots \dots 1$$

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{0,23950}{1,09212} \cdot 16 = 3,5 \dots\dots 4 \\
 P3 &= \frac{0,45026}{1,09212} \cdot 16 = 6,59 \dots\dots 7 \\
 P4 &= \frac{0,50774}{1,09212} \cdot 16 = 7,4 \dots\dots 8 \\
 P5 &= \frac{0,62270}{1,09212} \cdot 16 = 9,03 \dots\dots 10 \\
 P6 &= \frac{0,68018}{1,09212} \cdot 16 = 9,96 \dots\dots 10 \\
 P7 &= \frac{0,68976}{1,09212} \cdot 16 = 10,1 \dots\dots 11 \\
 P8 &= \frac{0,68976}{1,09212} \cdot 16 = 10,1 \dots\dots 11
 \end{aligned}$$

luego necesitamos:

$$P_c' = P_c + P_i = 16 + 1 + 4 + 7 + 8 + 10 + 10 + 11 + 11 = 78 \text{ especialistas.}$$

D) Número total de trabajadores:

$$5 + 10 + 78 = 93$$

E) Capital necesario para la financiación de las instalaciones:

$$93.500.000 = 46.500.000 \text{ pesetas}$$

IV. PLAN DE AMORTIZACION DEL CAPITAL INVERTIDO EN LAS INSTALACIONES, SUPONIENDO QUE EL TIPO DE INTERES QUE SE MANTENDRA ES EL LEGAL EN ESPAÑA DESDE 1968

Mediante este plan se ha de amortizar el capital necesario para la financiación de las instalaciones, calculado en el apartado anterior, y cuya cuantía es de 46.500.000 pesetas, para lo cual se supone un plazo de diez años, período durante el cual y por estudios realizados hay la seguridad casi absoluta de que la demanda se mantendrá con una cadencia totalmente regular.

Habida cuenta de la etapa de austeridad por la que atraviesa nuestra economía, con la recesión de créditos y la falta de incentivos que ello supone, el plan de amortización se hará de la siguiente forma:

- Los intereses se pagarán al principio de cada año.
- Cada anualidad superará a la precedente en un 10 por 100.

De esta manera, este plan de amortización resulta más atractivo para el inversor, al mismo tiempo que tiene en cuenta que la empresa no alcanza su máximo rendimiento hasta pasado un cierto tiempo.

Suponemos que el tipo de interés durante el tiempo de amortización se mantendrá el que es legal en España desde 1968, es decir, el 4,5 por 100 anual.

Consideramos también que en el momento inicial, año cero, la empresa dispone de un grupo de capital capaz de hacer frente al pago de los primeros intereses.

En estas condiciones y teniendo en cuenta que:

- Las cuotas de amortización se abonarán al final de cada año, resulta:

$$C = a_1 \cdot \frac{1 - q(1 - i)^n}{1 - q \cdot (1 - i)}$$

en donde:

C = Capital a amortizar = 46.500.000 pesetas

a₁ = Primera anualidad.

i = Interés en tanto por uno = 0,045.

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

$n =$ Número de años de amortización $= 10$.

$q = 100 + 10$ por $100/100 = 1 + 0,1 = 1,1$.

Por tanto:

$$a_1 = C \cdot \frac{q(1-i) - 1}{q(1-i)^n - 1}$$

resultando:

$$a_1 = 46.500.000 \times \frac{1,1(1 - 0,045) - 1}{1,1(1 - 0,045)^{10} - 1} = 3.688.156 \text{ ptas.}$$

Las demás anualidades vendrá dadas por la fórmula general:

$$a_n = a_1 - 1 + 10\% a_{n-1} = 1,1 a_{n-1}$$

De aquí resulta:

a_1	$=$	3.688.156,00	pesetas
$a_2 = 1,1 a_1$	$=$	4.056.971,60	"
$a_3 = 1,1 a_2$	$=$	4.462.668,76	"
$a_4 = 1,1 a_3$	$=$	4.908.935,63	"
$a_5 = 1,1 a_4$	$=$	5.399.839,17	"
$a_6 = 1,1 a_5$	$=$	5.939.823,10	"
$a_7 = 1,1 a_6$	$=$	6.533.805,41	"
$a_8 = 1,1 a_7$	$=$	7.187.185,95	"
$a_9 = 1,1 a_8$	$=$	7.905.904,54	"
$2_{10} = 1,1 a_9$	$=$	8.696.494,99	"

El capital a amortizar en el último año será igual a la última anualidad, ya que en dicho año no se pagan intereses de acuerdo con el plan de amortización expuesto al comienzo del presente trabajo; por tanto:

$$M_{10} = a_{10}$$

Los capitales parciales a amortizar en cada anualidad vienen dados por la fórmula.

$$M_{n-1} = M_n(1 - i) - (a_n - a_{n-1})$$

y en nuestro caso:

$$\begin{aligned} M_{10} &= & a_{10} &= 8.696.494,99 \text{ pesetas} \\ M_9 &= M_{10}(1 - i) - (a_{10} - a_9) = 7.515.007,98 & " \\ M_8 &= M_9(1 - i) - (a_9 - a_8) = 6.458.095,56 & " \\ M_7 &= M_8(1 - i) - (a_8 - a_7) = 5.514.054,23 & " \\ M_6 &= M_7(1 - i) - (a_7 - a_6) = 4.671.910,98 & " \\ M_5 &= M_6(1 - i) - (a_6 - a_5) = 3.921.662,42 & " \\ M_4 &= M_5(1 - i) - (a_5 - a_4) = 3.254.246,56 & " \\ M_3 &= M_4(1 - i) - (a_4 - a_3) = 2.661.524,81 & " \\ M_2 &= M_3(1 - i) - (a_3 - a_2) = 2.136.016,29 & " \\ M_1 &= M_2(1 - i) - (a_2 - a_1) = 1.671.071,66 & " \end{aligned}$$

Los intereses de cada año vienen dados por la expresión general:

$$I_n = a_n - M_n$$

excepto el interés correspondiente al comienzo del plan de amortización, es decir, el que hay que abonar en el año cero, cuyo valor es el siguiente:

$$I_0 = 4,5 \% \times 46.600.000 = 2.092.500 \text{ pesetas}$$

y para los restantes años:

$$\begin{aligned} I_1 &= a_1 - M_1 = 2.017.084,34 \text{ pesetas} \\ I_2 &= a_2 - M_2 = 1.920.955,31 & " \\ I_3 &= a_3 - M_3 = 1.801.143,95 & " \\ I_4 &= a_4 - M_4 = 1.654.689,07 & " \\ I_5 &= a_5 - M_5 = 1.478.176,77 & " \\ I_6 &= a_6 - M_6 = 1.267.912,12 & " \\ I_7 &= a_7 - M_7 = 1.019.751,18 & " \\ I_8 &= a_8 - M_8 = 709.090,39 & " \\ I_9 &= a_9 - M_9 = 390.896,56 & " \end{aligned}$$

INVESTIGACION OPERATIVA Y ORGANIZACION

Todos los anteriores datos quedan tabulados en la tabla adjunta, en donde también se expone el capital que nos queda por amortizar (resto) en cada año; así como el capital amortizado hasta entonces, considerado en su forma total.

Puede observarse la existencia de un error de 85,48 pesetas al final del período de amortización, como consecuencia de la no exactitud de los valores considerados y del grado de aproximación en las operaciones.

Año	Anualidad	Resto	Intereses	CAPITAL AMORTIZADO	
				Parcial	Total
0	2.092.500,00	—	2.092.500,00	—	—
1	3.688.156,00	46.500.000,00	2.017.084,34	1.671.071,66	1.671.071,66
2	4.056.971,60	44.828.928,34	1.920.955,31	2.136.016,29	3.807.087,93
3	4.462.668,76	42.692.912,05	1.801.143,95	2.661.524,81	6.468.612,76
4	4.908.935,63	40.031.387,24	1.654.689,07	3.254.246,56	9.722.839,32
5	5.399.839,17	36.777.140,68	1.478.176,77	3.921.662,42	13.644.521,74
6	5.939.823,10	32.855.478,26	1.267.912,12	4.671.910,98	18.316.432,72
7	6.533.805,41	28.183.567,28	1.019.751,18	5.514.054,23	23.830.486,95
8	7.187.185,95	22.669.513,05	709.090,39	6.458.095,56	30.288.582,51
9	7.905.904,54	16.211.417,49	390.896,56	7.515.007,98	37.803.590,49
10	8.696.494,99	8.696.409,51		8.696.494,99	46.500.085,48

V. CAPITAL CIRCULANTE PRECISO AL COMIENZO DE LAS ACTIVIDADES, SUPONIENDO QUE EL COEFICIENTE DE ROTACION DEL CAPITAL EN ESTE TIPO DE EMPRESAS ES 4.

Puesto que el coeficiente de rotación del capital es cuatro, el capital preciso al comienzo de las actividades vendrá dado por el cociente entre los costes totales anuales, o bien de los ingresos totales anuales (suponiendo que la empresa trabaja en situación de marginalidad) y el coeficiente de rotación del capital, que en este caso particular es cuatro.

Para ello, nuestro problema se centra en determinar a cuánto ascienden los costes totales anuales, para lo cual consideraremos las siguientes partidas:

A) Mano de obra para el montaje.

Teniendo en cuenta lo determinado en el capítulo correspondiente al capital necesario para la financiación de las instalaciones, podemos escribir:

R. ARGAMENTERIA GARCIA

Ingenieros superiores	5.400.000	=	2.000.000
Ingenieros técnicos	10.200.000	=	2.000.000
Especialistas	78.100.000	=	7.800.000

Total M/O montaje 11.800.000 ptas.

B) Mano de obra para la producción.

Teniendo en cuenta que el personal necesario para el montaje es la décima parte del preciso para la producción de los elementos correspondientes, podemos escribir:

Total M/O producción 118.000.000 ptas.

C) Retribución total anual.

En este apartado consideraremos la retribución total anual de la mano de obra en sus dos versiones, es decir, montaje y producción. Evidentemente se obtendrá sumando los dos apartados anteriores, por tanto:

Total mano de obra 129.800.000 ptas.

D) Costes totales anuales.

Teniendo en cuenta lo expuesto en el capítulo referente al objeto y consideraciones generales del presente trabajo, y según la distribución de costes del televisor:

Mano de obra	30	por 100
Materiales	55	por 100
Otros costes	15	por 100

resulta:

Total costes anuales 432.666.666,66 ptas.

E) Precio de venta del televisor.

Supuesto que la empresa trabaja en situación marginal y teniendo en cuenta que la demanda puede cifrarse en 30.000 unidades anuales, según

los estudios realizados, el precio de venta del televisor vendrá dado por el cociente entre los costes totales anuales y el número de unidades vendidas anualmente; por tanto:

P. V. P. televisor 14.422,22 ptas f.-f.

F) Ingresos totales anuales.

Dichos ingresos vendrán dados por el producto del número de televisores vendidos anualmente por el precio de venta de un televisor. Evidentemente coincidirá con los costes totales anuales, lo cual está de acuerdo con la hipótesis hecha de situación de marginalidad. Así pues:

Total ingresos anuales 432.666.666,66ptas.

G) Capital preciso al comienzo.

Vendrá dado por el cociente entre los costes totales anuales y el coeficiente de rotación.

Total capital circulante 108.166.666,66 ptas

