



Cátedra Nissan

-PROTHIUS-

Prácticas Diseño de Sistemas productivos y logísticos (DSPL-EOI)

Joaquín Bautista Valhondo, Ramón Companys Pascual y Albert Corominas Subias

D-10/2011

(Rec. OP/PROLOIDO-1996/2000-BCC)

Departamento de Organización de Empresas

Universidad Politécnica de Cataluña

Publica:

Universitat Politècnica de Catalunya
www.upc.edu



Edita:

Cátedra Nissan
www.nissanchair.com
director@nissanchair.com

Práctica-1: DIMENSIONAMIENTO DE UNA UNIDAD PRODUCTIVA

Una empresa desea construir una planta productora de un compuesto y se enfrenta al problema de determinar su capacidad. Si decide hoy, puede producir a partir del 1 de enero del próximo año (año-01, como referencia) adquiriendo la instalación llaves en mano. Los estudios de mercado reflejan una demanda potencial para el producto de:

año	01	02	03	04	05	06	07	08
Tm.	160	180	220	260	290	310	320	330

En cuanto a las características de las instalaciones posibles:

TIPO	CAPACIDAD Tm./año	INVERSIÓN Kum	COSTE FIJO DE PRODUCCIÓN Kum/año	COSTE VARIABLE DE PRODUCCIÓN Kum/Tm.
A	100	3000	500	8
B	150	4250	600	7,4
C	200	5500	700	6,8
D	250	6750	800	6,4
E	300	8000	900	6

Suponiendo un horizonte de 8 años y una tasa de interés del 10 % anual, así como un precio de venta del producto constante a los largo del horizonte de 20 Kum/Tm.

- Comparar la rentabilidad de la instalación de una unidad de C con la de una unidad D (calcular el VAN y el TIR). ¿Qué es mejor?
- id. de una de D con una de E.
- Suponiendo que es posible instalar nuevas unidades al lado de las existentes ¿es interesante instalar al inicio una unidad de C y ampliar posteriormente con una unidad de A? ¿Por qué? (las inversiones se consideran pagables al iniciar la producción, los costes de producción e ingresos están referidos al final del período)

Si sustituimos una instalación por otra de capacidad superior el suministrador nos hace un descuento en el precio de la nueva instalación, función de la edad de la instalación substituida y que es un porcentaje del precio de adquisición de ésta:

edad (años)	1	2	3	4	5	6
porcentaje	80	60	40	20	10	0

- La substitución se realiza de forma que no se interrumpe la fabricación. ¿Es interesante instalar al inicio una unidad de C y substituir la posteriormente por una unidad de E? ¿Por qué?
- Plantee un modelo matemático para el problema propuesto.



Práctica-2 – DIMENSIONAMIENTO DE UNA UNIDAD PRODUCTIVA: CASO ANESA

La empresa Química “Aires nets de l’Empordà”, ANESA, quiere ampliar sus instalaciones para poder fabricar y comercializar una mezcla de gases destinada al sector agroalimentario. Dicho sector ofrece un enorme potencial de crecimiento en el arco Mediterráneo para los próximos años.

El departamento de Marketing de la empresa ha realizado un estudio de mercado, estimando que la demanda de unidades para el año que viene será de 20.000 unidades del nuevo producto. Además se estima que durante los 9 años siguientes al lanzamiento de la mezcla, la tasa de crecimiento de las unidades comercializadas será del orden del 6% respecto a las ventas el año anterior.

Se considera un precio de venta fijo de 8 euros / unidad para todo el periodo de 10 años, teniendo en cuenta que la más que probable competencia en el sector impedirá plantear incrementos de precio sin causar a su vez pérdida de clientes (cosa que es del todo inaceptable).

La dirección de ANESA ha encargado al departamento de operaciones que proponga diversas alternativas para ampliar las instalaciones. Las propuestas planteadas por el director del departamento son las siguientes:

Opción	A	B	C
<u>Descripción:</u>	Sistema manual de envasado, intensivo en mano de obra y de capacidad limitada.	Sistema automatizado mediante un PLC.	Sistema automatizado mediante un DCS (Distributed control system)
<u>Capacidad:</u>	25.000 unidades / año	30.000 unidades /año	35.000 unidades / año
<u>Inversión:</u>	150.000 euros	200.000 euros	250.000 euros
<u>Amortización:</u>	10 años	10 años	10 años
<u>Costes fijos:</u>	12.000 euros / año	13.000 euros / año	15.000 euros / año
<u>Costes Variables:</u>	6 euros / unidad	5,50 euros / unidad	5,00 euros / unidad

Suponiendo que no se tiene en cuenta el efecto impositivo, y considerando una tasa de interés del 9% anual y un horizonte temporal de 10 años.

- El director financiero indica que la propuesta más acertada es invertir en la opción B, pues es la que presenta el TIR más elevado. ¿Está de acuerdo con esta propuesta? Razone la respuesta.
- ¿Cuál es el coste variable que debería tener la opción B, para ser considerada la mejor de las tres propuestas? Razone la respuesta.

- (c) Considerando los costes iniciales: ¿Cuál es el coste fijo que podría soportar la opción A para que fuera mejor que las otras dos? Razone la respuesta.
- (d) El departamento comercial considera que un precio de 8 euros es demasiado elevado para lo que están dispuestos a pagar los clientes , y quiere saber si puede rebajar los precios. El director financiero indica que al menos se ha de conseguir un TIR del 9%. Considerando los costes iniciales: Cual es el precio mínimo al que se puede ofertar en cada una de las tres opciones? ¿por qué cree que el Director Financiero impone esta condición? Razone la respuesta.
- (e) Considerando el precio inicial de 8 euros, si se tiene en cuenta que los beneficios obtenidos cada año están sometidos al impuesto de sociedades y por ello se debe descontar un 35% del ahorro anual: ¿Cuál sería entonces la mejor opción?



Práctica-3: CALIFORNIA OIL COMPANY

Carl Shimer, director de I+D de California Oil Company (COC), está estudiando la construcción de un puerto para superpetroleros y un pipeline. La nueva instalación debe alimentar la refinería de COC en Richmond, situada en el área de la bahía de San Francisco. El puerto consistirá en un único punto de amarre, a 2 o 3 millas de la costa, para descargar los superpetroleros. Unas tuberías submarinas recibirán el petróleo, que mediante una estación de bombeo en la costa lo llevarán a la tubería de alimentación de la refinería de Richmond. Después de un análisis preliminar se han seleccionado cuatro posibles emplazamientos para una evaluación más detallada: Moss Landing, Estero Bay, Port Hueneme y Oso Flaco Dunes. Shimer debe recomendar una ubicación al Comité de I+D de COC.

Las principales consideraciones en la evaluación de las localizaciones son económicas, políticas y ambientales, que se han refinado y extendido en diez criterios (ver Tabla-1). La importancia de cada criterio fue discutida largamente en una reunión del comité, después de la cual Shimer recibió la siguiente acta de su adjunto.

A: C. Shimer, director de I+D
DE: D. Klopp, adjunto al director de I+D
ASUNTO: Ubicación del puerto para petroleros.

En la reunión del viernes (2 de abril) se decidió que se usarían diez criterios para evaluar las ubicaciones en estudio. La lista desarrollada en la reunión sitúa la "posición de los políticos locales" como el factor más importante y el "impacto ambiental de la situación de la instalación" como el factor menos importante.

He incluido en anexo los criterios ordenados con descripciones comparativas de las ubicaciones.

Fecha: 5 de abril

Firmado: D. Klopp

Con esta información, Shimer revisó sus notas del comité que realizó la evaluación de cada una de las ubicaciones respecto a los diez criterios; situó los criterios en el orden sugerido por el comité (ver Tabla-2); examinó cada criterio y detectó las situaciones "mejor" y "peor", dadas las circunstancias (ver Tabla-3).

Para cada criterio, Shimer atribuyó 0 a la peor situación y 1 a la mejor situación. Pensaba asignar valores entre 0 y 1 a cada característica de las ubicaciones, ponderándolas de acuerdo a la importancia relativa de cada uno de los diez criterios para lograr una valoración global de cada ubicación. Con este método, suponía que lograría diferenciar las ubicaciones con características favorables en los criterios de prioridad alta de aquéllas con buenas valoraciones sólo en los criterios de baja prioridad.

Por el momento se favorecía a Moss Landing a causa de que era el mejor emplazamiento para los criterios clasificados en segunda, tercera y cuarta posición. Concretamente, Moss Landing era: (1) el más económico en construcción, (2) el más económico en funcionamiento y (3) el más cercano a Richmond.



Clase	Criterio (número de orden sugerido por el comité)
Económicos	Instalaciones. (9) Características del puerto. (6) Situación. (4) Coste de construcción. (2) Coste anual de funcionamiento. (3) Posibilidades de desarrollo futuro. (5)
Políticos	Posición de la población local. (7) Posición de los políticos locales. (1)
Ambientales	Impacto ambiental del funcionamiento. (8) Impacto ambiental de la ubicación de las instalaciones. (10)

Tabla-1: Lista de criterios para evaluar la ubicación de un puerto.

	MOSS LANDING	ESTERO BAY	PORT HUENEME	OSO FLACO
Posición de los políticos	Posiblemente opuestos	Posiblemente favorables	Favorables	Posiblemente favorables
Coste de construcción	\$ 40 millones menos que E.B.	Coste base	\$ 60 millones más que E.B.	\$ 5 millones más que E.B. (estimado)
Coste anual de funcionamiento	\$ 2 millones/año menos que E.B.	Coste base	\$ 5 millones/año más que E.B.	Similar a E.B.
Situación	Cerca de Richmond, más lejos de Elk Hills que E.B.	Ubicación base	90 millas más lejos de Richmond que E.B.	Situación central
Posibilidades de desarrollo futuro	Área ya poblada	Terreno abrupto, difícil expansión	Interferencia con la Marina	Área disponible, bajo control de políticos locales
Características del puerto	Regulares	Buenas	Excelentes	Buenas
Posición de la población local	Posible oposición	Oposición oral	Poco efecto en la población	Poco efecto en la población
Impacto ambiental en funcionamiento / Accidentes	Impacto fuerte: área arenosa-pantanososa; difícil de limpiar; efectos largo plazo	Impacto fuerte: turismo e industria pesquera; área pantanososa y rocosa difícil de limpiar; efectos largo plazo en fauna.	Impacto mínimo: área rocosa, fácil de limpiar; área ya industrializada.	Impacto mínimo: área arenosa fácil de limpiar.
Instalaciones	No	Algunas	No	No
Impacto ambiental por ubicación	Tanques muy visibles	Tanques ocultos; reestructuración importante de la cala existente	Tanques visibles (lejos de la población)	Tanques visibles (lejos de la población)

Tabla-2: Características de las ubicaciones posibles



	PEOR valor del CRITERIO	MEJOR valor del CRITERIO
Posición de los políticos locales	Voto favorable improbable	Voto favorable garantizado
Coste de construcción (base E.D.)	\$ 60 millones por encima de E.B.	\$ 60 millones por debajo de E.B.
Coste anual de funcionamiento (base E.D.)	\$ 5 millones por encima de E.B.	\$ 5 millones por debajo de E.B.
Situación (E.D. como base)	Cerca de Los Ángeles con acceso difícil al valle de San Joaquín y a Richmond	Entre el campo petrolífero de Elk Hills y San Francisco; más cerca de Elk Hills con fácil acceso al valle de San Joaquin
Posibilidades de desarrollo futuro	Sin posibilidad de expansión una vez construida la parte inicial	Sin límite de crecimiento futuro de las instalaciones
Características del puerto	Mares muy tempestuosos y más de 4 millas de la costa	Mar calmado y a una milla de la costa
Posición de la población local	Oposición amplia, fuerte, vocal y efectiva	Oposición limitada, débil e inefectiva
Impacto ambiental en funcionamiento / Accidente	Escapes de petróleo con daños en la comunidad y fauna; peligro extremo por proximidad con operaciones militares o industriales	Escapes leves de petróleo que pueden limpiarse con relativa rapidez sin efectos serios
Instalaciones	No existen dispositivos para atender a los superpetroleros	Existen todos los dispositivos para atender a los superpetroleros
Impacto ambiental por ubicación	Impacto importante en el área e interferencias con el ambiente natural	Ningún efecto adverso importante de la colocación de instalaciones

Tabla-3: Descripciones de las situaciones de referencia para los criterios

Práctica-4: CASO DE LOCALIZACIÓN DE UN PANEL DE CONTROL

Seis de las máquinas instaladas en una nave industrial son atendidas por un único equipo de técnicos. La nave industrial es de forma rectangular ($80 \times 60 \text{ m}^2$), está atravesada por una serie de pasillos paralelos a las paredes de la misma que están separados entre sí (los de la misma dirección) y de las paredes por una distancia de 5 metros, medida desde el centro de los pasillos.

Podemos considerar a efectos del problema que nos ocupa que las máquinas están situadas en los puntos de coordenadas A (10, 25), B (20, 10), C (60, 15), D (40, 45), E (30, 15) y F (50, 30) referidos a unos ejes coincidentes con dos paredes de la nave, y expresadas en metros.

Se pretende dotar al equipo de técnicos de un panel de control que les indique la máquina que deben atender. Cuando ello ocurra se desplazarán (el equipo completo) hasta la máquina en cuestión regresando, una vez terminada su actuación, frente al panel de control hasta que sean de nuevo requeridos.

- (a) ¿Dónde deberá instalarse el panel de control si la frecuencia con que se espera que los técnicos sean requeridos es de 2, 5, 2, 4, 3 y 4 veces al día por la máquina A, B, C, D, E y F respectivamente? El objetivo es conseguir que el total de la distancia recorrida por los técnicos sea mínima.
- (b) Por razones de seguridad el panel de control no puede situarse en el interior del polígono delimitado por las máquinas A, B, C y D. ¿Dónde situaremos en este caso el panel de control? y ¿cuál será el incremento de la distancia recorrida respecto al caso anterior?

Durante sus intervenciones los técnicos pueden necesitar material o herramientas que se deben guardar en armarios distintos X, Y y Z, estimándose que por cada necesidad de un elemento de X, se presentarán 2 de Y y 3 de Z. La necesidad se determina una vez el equipo se ha trasladado a la máquina, en cuyo caso uno de sus miembros se desplaza al armario en cuestión. Terminada la intervención el mismo operario devuelve el elemento al armario y de ahí se encamina al panel de control. Todas las intervenciones, independientemente de la máquina tienen la misma probabilidad de precisar uno de dichos elementos.

Existen cinco puntos, contiguos a una pared de la nave, en donde pueden disponerse dichos armarios: M (0, 20), N (0, 30), P (80, 40), Q (30, 0) y R (50, 0).

- (c) Con el mismo objetivo de minimizar los trayectos recorridos, ¿dónde deben situarse los armarios?

Práctica-5: CASO DE LOCALIZACIÓN DE UN PUNTE GRÚA

En una nave industrial de 70 m de longitud y 40 de anchura se fabrica maquinaria pesada. El producto acabado queda situado en uno de los cuatro puntos A, B, C y D (5, 2, 4 y 3 unidades de producto por jornada de trabajo, respectivamente). Las coordenadas de los puntos medidas tomando como ejes dos paredes de la nave (eje x en el sentido de la longitud) son (30, 20), (10, 10), (40, 30) y (60, 10) respectivamente. Desde dichos puntos el producto debe llevarse al muelle de carga de los camiones mediante un puente grúa (el puente se desplaza en sentido longitudinal, el carro en sentido transversal o de la anchura).

- (a) En el supuesto de que el desplazamiento del puente y del carro (comprendiendo ida y vuelta) tienen el mismo coste, 20 euros por unidad de longitud, y que el muelle puede situarse en cualquier punto de la nave, ¿dónde debe instalarse el muelle y cuál es el coste diario?
- (b) Por condiciones de acceso de los camiones el muelle sólo puede situarse en el interior de un triángulo definido por la relación de coordenadas $x - y = 0$. ¿Dónde se situará el muelle y cuál es el sobrecoste respecto a la solución anterior?
- (c) Se desea instalar una boca de agua para incendios. En el supuesto de que el fuego puede declararse en A, B, C o D con probabilidades proporcionales a 1, 2, 3 y 4, respectivamente, y que los daños producidos por el incendio son proporcionales al cuadrado de la distancia a la boca, ¿dónde debería instalarse la misma? ¿Y si tuviese forzosamente que estar junto a una pared de la nave?
- (d) En el supuesto del apartado (b) y con una tasa de interés del 7 %, ¿qué inversión sería aceptable para realizar una reforma que permitiese realizar la carga en el punto determinado en el apartado (a)? Suponer 44 semanas laborables al año y horizonte de funcionamiento ilimitado.

Si el desplazamiento unitario del puente costase el doble que el del carro, ¿se modificarían los cálculos realizados en los apartados (a) y (b)? En caso afirmativo, ¿cómo?

Práctica-6: CASO DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE UN PROCESO

Una empresa fabrica 10 productos distintos, pero de volumen y peso semejante, con la intervención de seis departamentos.

PRODUCTO	SECUENCIA DEL PROCESO	PRODUCCION MENSUAL (un)	DEPARTAMENTO SUPERFICIE (m2)	
1	A B C D E F	800	A	300
2	A B C B E D C F	1.000	B	360
3	A B E F	600	C	240
4	A B C E B C F	2.000	D	450
5	A C E F	1.500	E	750
6	A B C D E F	400	F	450
7	A B D E C B F	2.000		
8	A B C B D B E B F	2.500		
9	A B C D F	800		
10	A B D E F	1.000		

- Establecer la tabla matricial de movimiento mensual entre departamentos.
- Diseñar un layout mediante SLP.
- Calcular la distancia total recorrida por mes suponiendo que el movimiento de materiales entre departamentos tiene lugar en lotes de 100 unidades.



Práctica-7: CASO PIELES (DISTRIBUCIÓN EN PLANTA)

El tratamiento de pieles, para la confección posterior de ropa, consta básicamente de cuatro procesos productivos: (1) **ESTIRAR**, **PULIR**, **PIGMENTAR** y **MEDIR**. Las interrelaciones entre estos procesos así como la proporción del flujo de material que pasa de uno a otro se muestran en la **figura.1**.

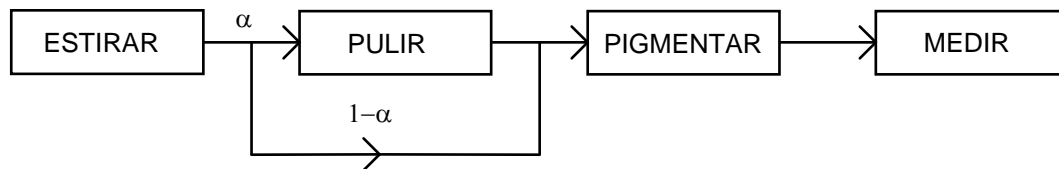


FIGURA.1: Relación entre procesos

Las superficies necesarias para albergar el equipo y mano de obra en las secciones que se destinan a los cuatro procesos son las siguientes:

Estirar	60 m ²
Pulir	20 m ²
Pigmentar	100 m ²
Medir	60 m ²
Total	240 m²

Suponiendo que tanto la planta como las secciones son de diseño rectangular, estudiar las distintas distribuciones posibles.

NOTA: Se sugiere tomar como unidad de superficie básica la correspondiente a la sección de **PULIR**, celdas de producción de las dimensiones indicadas en la **tabla.1** y como parámetros de flujo (α) 0.5, 0.6, 0.7 y 0.8

Largo	10	8	6	5	4	3.3	2.5	2
Ancho	2	2.5	3.3	4	5	6	8	10

TABLA.1: Tamaños de celda (en metros).

Práctica-8: CASO ART-TONE CARDS

ART-TONE CARDS (A) H.B.S. 9-605.007

Case material of the Harvard Graduate School of Business Administration.

Durante la primera semana de Enero de este año los trabajadores del departamento de Embalaje de Art-Tone Cards estaban utilizando tres nuevos métodos para empacar las felicitaciones y sus sobres antes de enviarlas a sus clientes. Dos de estos métodos habían sido introducidos en el departamento durante las dos últimas semanas de diciembre por Bob Hayes, el único ingeniero industrial de la empresa, quien la había abandonado el 31 de diciembre para acceder a un alto cargo en otra empresa.

El director de fábrica, Sr. Conrad Rorick, había recibido el 31 de diciembre un memorándum de cuatro páginas del Sr. Hayes. El memorándum definía el trabajo que había hecho Hayes y daba las cifras de producción del departamento de Embalaje de los días 28, 29 y 30 de diciembre. Este memorándum, junto con los borradores del Sr. Hayes, era el único informe escrito disponible sobre el trabajo del Sr. Hayes.

Historial de la empresa

Art-Tone Cards era una de las diversas empresas de tipo medio existentes en la industria de las felicitaciones. Su fábrica de Detroit, Michigan, producía postales de felicitación y también una pequeña cantidad de materiales para envolver regalos. Art Tone era un productor integrado: diseñaba, imprimía y distribuía postales de felicitación a los detallistas.

En los últimos años las ventas de Art-Tone habían sido superiores a los 10 millones de dólares. Aproximadamente la mitad de estas ventas se hacían en "felicitaciones estacionales" tales como las que se utilizan para felicitar las fiestas más o menos universales. Las felicitaciones de Navidad representaban por sí solas la mitad de estas ventas estacionales. Las "felicitaciones corrientes" (felicitaciones de cumpleaños, tarjetas para enfermos, etc.) representaban el resto de las ventas y no seguían ningún ritmo estacional. En cualquier momento la empresa ofrecía para su venta alrededor de 4.000 diseños diferentes.

El sistema de distribución predominante en la industria de las felicitaciones era el de la venta directa al detallista. Del mismo modo como Hallmark Cards, la mayor empresa de esta industria, Art-Tone vendía exclusivamente a detallistas. Muchos de estos detallistas vendían las felicitaciones mediante expositores. Normalmente se asignaba el espacio de los expositores a varios fabricantes de felicitaciones y el detallista decidía que porcentaje del expositor sería suministrado por cada fabricante. Se admitía generalmente en esta industria que las ventas dependían del espacio del expositor destinado por los detallistas a una empresa.

La fábrica de Detroit

La fábrica de Detroit de Art-Tone era su única instalación productiva en los Estados Unidos. El edificio, que estaba constituido dos plantas, tenía dos años y estaba ubicado en el área suburbana. La planta superior albergaba los departamentos de Arte y Redacción, Fotografía y algunas de las oficinas de administración. La imprenta, los



demás departamentos de producción, así como las oficinas principales estaban situados en la planta baja.

La producción de las felicitaciones empezaba en el departamento de Arte y Redacción, donde tenía lugar la parte creativa del proceso. Las felicitaciones se imprimían mediante procesos offset utilizando clichés preparados mediante un proceso fotográfico. Después de la impresión algunas felicitaciones eran repujadas y luego las grandes láminas en las que se habían impreso las felicitaciones se cortaban para obtener las felicitaciones desplegadas. Las felicitaciones se separaban entonces según su diseño y se plegaban automáticamente. Después del plegado las felicitaciones se transportaban a otra zona donde los operarios aplicaban efectos especiales y ataban los ribetes cuando era necesario. Durante todas estas operaciones y las siguientes los operarios inspeccionaban continuamente las felicitaciones, controlando la suciedad, manchas de aceite, colores fuera de registro, arrugas, defectos del proceso y otros fallos.

Después que las felicitaciones hubiesen sido acabadas, se embalaban en cajas de madera, cada una de las cuales contenía aproximadamente 2.000 felicitaciones. Estas cajas de felicitaciones se almacenaban antes del contaje y empacado finales. Los sobres se almacenaban en stock separado. El mayor proveedor de sobres de Art-Tone estaba situado cerca y podía suministrar sobres de una determinada medida una semana después de haber recibido el pedido. El proveedor suministraba los sobres en paquetes de 12, unidos mediante una banda de papel.

El Sr. Rorick supervisaba todas las actividades de producción de la planta baja. En la fábrica trabajaban aproximadamente 1.000 personas. Tres subordinados con responsabilidad, cada uno en una parte de la producción, reportaban directamente al Sr. Rorick. Bert Suvallé, uno de los tres subordinados, había estado hospitalizado en diciembre debido a un ataque de corazón. A principios de enero su estado había mejorado lo suficiente como para dejar el hospital, pero era difícil saber cuando estaría en condiciones de volver al trabajo. El Sr. Suvallé estaba a cargo de la sección de Acabados que incluía operaciones que iban desde la aplicación de efectos especiales hasta la expedición final. Algo más de 300 operarios trabajaban en la sección de Acabados. Seis encargados despachaban directamente con el Sr. Suvallé. En enero estaban siendo supervisados por el director de fábrica. Uno de estos encargados, la Srta. Hudson, estaba a cargo del departamento de Embalaje.

El departamento de Embalaje

El departamento de Embalaje preparaba a la vez felicitaciones estacionales y corrientes para el departamento de Pedidos. Las felicitaciones se recibían, en el departamento de Embalaje, en cajas de madera. Los paquetes de sobres se suministraban al departamento en las medidas correspondientes a las felicitaciones que debían procesarse. Los operarios del departamento contaban las postales y las colocaban en pilas de 12. Con cada pila se colocaba un paquete de sobres. El montón combinado de 12 felicitaciones y 12 sobres se colocaba entonces en un contenedor, el cual a su vez se colocaba en una caja de cartón ondulado. Se usaban las cajas de cartón, llamadas "shippers", para enviar felicitaciones y sobres al departamento de Pedidos. Cuando los "shippers" llegaban al departamento de Pedidos contenían felicitaciones de un solo tipo. El personal del departamento de Pedidos realizaba los envíos a los clientes tomando contenedores de diferentes tipos de postales de varios "shippers" preparados por el departamento de Embalaje y colocándolos en otro



"shipper" que era enviado al cliente. Los pedidos podían estar compuestos por unos 30 tipos diferentes de felicitaciones

En el departamento de Pedidos se mantenía un stock importante de felicitaciones, de modo que el departamento de Embalaje recibía muy raramente la solicitud de una felicitación determinada. La empresa fabricaba las felicitaciones estacionales con suficiente anticipación como para que el volumen total de felicitaciones fuese prácticamente constante todo el año. Este volumen se esperaba que fuese aproximadamente de 800.000 felicitaciones/día durante el año. Alrededor de un 48 % de las felicitaciones procesadas a través del departamento de Embalaje eran felicitaciones estacionales y el resto felicitaciones corrientes. Esta proporción se mantenía aproximadamente a lo largo de todo el año.

Debido al volumen uniforme de felicitaciones que pasaba a través del departamento de Embalaje la plantilla se mantenía en una cifra alrededor de 43 personas a lo largo del año. En enero, 22 de estos operarios estaban trabajando con felicitaciones corrientes. Además de los 43 operarios el departamento tenía 5 auxiliares de materiales. El departamento trabajaba 7,5 horas/día, con 2 descansos de 10 minutos, lo cual hacía que el tiempo de producción estuviese por debajo de los 430 minutos/día. Los trabajadores de la fábrica eran miembros de un sindicato obrero.

Hasta julio del año pasado el departamento de Embalaje había estado utilizando una pequeña caja de cartón como contenedor, en el que se colocaban las felicitaciones recortadas y el paquete de

sobres. La operación de envasado se llevaba a cabo mediante la utilización de una cinta transportadora con seis puestos de trabajo. El primer operario colocaba la pequeña caja abierta y su tapa en el extremo de la cinta. Los dos operarios siguientes tomaban las felicitaciones de las cajas de madera, las contaban y las colocaban en pilas sobre la cinta. El trabajador siguiente de la cinta colocaba los paquetes de sobres encima de cada pila de postales. El quinto operario colocaba la pila combinada de felicitaciones y sobres en la caja y ponía la tapa en la caja. El sexto trabajador sacaba las cajas de la cinta transportadora y las apilaba.

Las pilas de cajas llenas se llevaban entonces a otra zona del departamento donde se les pegaban las etiquetas. Estas etiquetas indicaban el código y tipo de felicitación que contenía la caja. Como muchos pedidos eran muy pequeños la caja de 12 unidades constituía una cantidad de envío aceptable para un tipo de felicitación. Las pequeñas cajas se embalaban en "shippers" para su suministro al departamento de Pedidos.

El "packer" de papel

En un esfuerzo para reducir los costes, Art-Tone introdujo un "packer" de papel como sustituto de la caja de cartón para las felicitaciones corrientes. Este "packer" era un sobre manila, con una solapa en el sentido longitudinal. Una medida del "packer", 21,6 cm. de largo, se acomodaba al 90 % de las felicitaciones de la línea corriente. El resto de los diseños se acomodaban a una segunda medida de "packer" de 25,4 cm. de largo, a excepción de unos 10 diseños que requerían la utilización de cajas debido a su grosor poco corriente.

Mediante la adopción del "packer" en las felicitaciones corrientes Art-Tone pudo reemplazar 102 medidas de cajas por dos medidas de "packers" de papel. Mientras las cajas habían requerido 47 tamaños de "shippers", los "packers" podían ajustarse a dos

tipos. Art-Tone realizó también ahorros eliminando las operaciones de etiquetado a mano para las felicitaciones corrientes. Los "packers" podían imprimirse en 24 horas acomodándose a la programación del departamento de Embalaje.

Art-Tone no introdujo los "packers" en la línea estacional por temor a la resistencia de los detallistas. Cuando uno de éstos recibía las felicitaciones corrientes las sacaba, con sus correspondientes sobres, del "packer", colocaba algunas en su expositor y metía las restantes en filas numeradas en los cajones de dicho expositor, tirando el "packer". Sin embargo compraba las felicitaciones estacionales con antelación y en cantidades mayores de las que podía exponer o guardar en los cajones de su expositor. El detallista podía fácilmente apilar las cajitas en su almacén. En cambio los "packers" eran más difíciles de almacenar. Hallmark había introducido "packers" en su línea de felicitaciones corrientes antes del verano pasado, lo mismo que otros fabricantes, pero no los había probado en su línea estacional hasta el Día del Padre, en el mes de junio. Aunque la encuesta que había realizado Art-Tone entre los detallistas indicaba que la innovación había tenido éxito, Art-Tone consideraba que el volumen de felicitaciones del Día del Padre era demasiado bajo como para constituir una prueba adecuada de la aceptación de los detallistas.

Cuando se introdujo, en el mes de junio, el "packer" en el departamento de Embalaje el método empleado sufrió una pequeña variación con respecto al uso anteriormente con las cajitas. Dos de las cuatro cintas transportadoras del departamento fueron modificadas para su utilización con los "packers". En la figura 1 puede observarse la nueva distribución de los operarios.

El primer trabajador de la cinta colocaba un paquete de sobres en un "packer" y colocaba éste sobre la cinta. Los dos trabajadores siguientes apartaban un cierto número de felicitaciones y las colocaban encima de la cinta. El cuarto metía las pilas de felicitaciones en el "packer" y el quinto doblaba la solapa del "packer", lo sacaba de la cinta y lo ponía sobre una mesa. El sexto operario cogía los "packers" ya llenos de la mesa y los empaquetaba en un "shipper" de cartón ondulado.

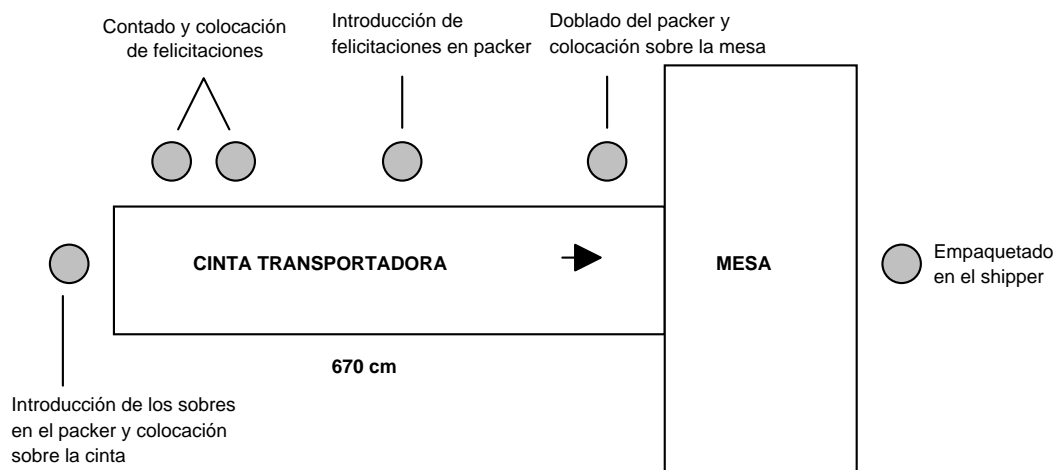


Figura-1: Layout del método Cinta transportadora con 6 operarios

Al tiempo que se introducían los "packers" en la fábrica de Detroit, una empresa del Canadá, afiliada a Art-Tone, estaba utilizando el mismo "packer" en su departamento

de Embalaje. En la fábrica canadiense la productividad era en promedio 175 "packers" por hora por cada trabajador en la cinta, utilizando el mismo método de seis operarios y la misma distribución de la figura 1. Como Art-Tone había trabajado a un ritmo de 212 cajitas por hora y trabajador en el departamento de Embalaje antes de ensayar los "packers", la Dirección temía que el aumento de coste de la mano de obra pudiera contrarrestar el ahorro conseguido al cambiar a los "packers". El número de felicitaciones que contenían tanto las cajitas como los "packers" era el mismo.

En base al resultado de un estudio realizado por un joven ejecutivo, el director de fábrica autorizó a tomar dos medidas para intentar reducir los costes de llenado de los "packers": una de las medidas se basaba en una simplificación de la operación manual y la otra empleaba la ayuda de una máquina para llenar los "packers". Para lo primero se encargó al ingeniero industrial de la fábrica, Bob Hayes, el estudio de la mejora del método utilizado hasta entonces en la cinta transportadora por los seis operarios. El método que surgió como resultado de este trabajo está explicado a continuación como "Método del operario Único". La segunda medida a tomar consistía en pedir una máquina TeleSonic. El representante de la fábrica Tele-Sonic declaró que su empresa podía adaptar la máquina para su utilización con los "packers" y que la producción podía llegar a ser de casi 26 "packers" por minuto. Tomando este dato y la experiencia previa del personal de Art-Tone en otros modelos de la máquina se pidió una, en julio del año pasado.

El método del Operario Único

Mientras Bob Hayes trabajaba en la mejora de métodos de embalaje decidió experimentar con un método a base de un único operario. En este sistema cada operario trabajaba en una mesa separada, con los materiales llevados hasta a mesa por trabajadores auxiliares.

Estos auxiliares también retiraban los "packers" terminados. Cada operario ordenaba los materiales sobre la mesa, después llenaba los "packers" y los metía dentro del "shipper". Los auxiliares colocaban los "packers", las felicitaciones y sus correspondientes sobres en cajas abiertas detrás de la mesa. Primero el operario ordenaba los "packers" sobre la mesa en número suficiente para llenar un "shipper". Después colocaba el mismo número de paquetes de sobres en una pila no muy compacta a la derecha de los "packers". Entonces sacaba un "shipper" del montón guardado debajo de la mesa y lo colocaba abierto encima de la mesa y a la izquierda. Sacaba un puñado de felicitaciones del embalaje donde éstas se guardaban, las repartía en pilas de 12 y colocaba estas pilas sobre la mesa junto a sus correspondientes sobres. Entonces ya estaba listo para llenar los "packers" y meterlos en el "shipper". En su informe y a lo largo del período de entrenamiento de los operarios el Sr. Hayes subrayó la necesidad de ordenar los materiales sobre la mesa de una manera muy pulcra para conseguir una producción elevada.

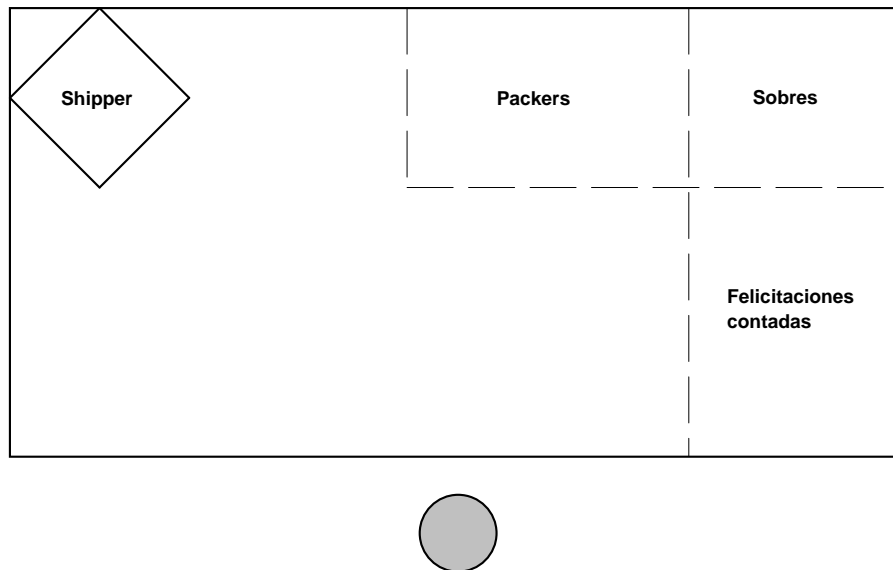


Figura-2: Layout del método del operario único

En la figura 2 puede verse la disposición de la mesa de trabajo que Bob Hayes desarrolló para el método del operario único. La figura 3 describe el cálculo realizado por Hayes del tiempo total necesario para llenar un "shipper", incluyendo las operaciones que requerían un solo movimiento para el llenado del "shipper". Estos tiempos se obtuvieron de los datos estándar M.T.M.

Movimiento	Tiempo en min.	Frecuencia/Shipper	Tiempo normal por shipper
1. Coger packers	0.0384	1	0.0384
2. Coger sobres	0.0425	1	0.0425
3. Coger shipper	0.1088	1	0.1088
4. Contar felicitaciones	0.0025	360	0.9000
5. Llenado- empaquetado	0.0698	30	2.0940
6. Retirar shipper	0.1088	1	0.1088
		minutos por shipper	3.2925
Añadir +15% concesión de cansancio personal = 3.7825 minutos por shipper = 0.1261 minutos por packer			

Figura-3: Cálculo de tiempos estándares para el método del operario único

Hayes utilizó los tiempos estándar calculados por él para establecer los objetivos de producción de los cinco trabajadores a quienes entrenó en el método del operario único. Comenzó este entrenamiento el 14 de diciembre y les había dado a cada uno seis horas aproximadamente de entrenamiento cuando empezaron a poner en práctica el método del operario único en el departamento de Embalaje el 21 de diciembre. Hayes no hizo ningún registro de los progresos obtenidos durante el tiempo que duró el entrenamiento, pero calculó que en el último día, el trabajador más lento producía a un ritmo de 1.000 "packers" diarios y el más rápido 1.700.

Las únicas cifras de producción disponibles con los cinco operarios trabajando a la vez correspondían a los días 28, 29 y 30 de diciembre. Durante estos tres días la productividad media por operario fue de 1.415, 1332 y 1.610 "packers" por día.

La máquina Tele-Sonic

La máquina Tele-Sonic se entregó a la fábrica de Art-Tone en Detroit el 24 de diciembre. Se facturó a 800 dólares pero el fabricante dijo que no entregaría otra por menos de 1.500 dadas las dificultades que había encontrado en la adaptación a los "packers" de Art-Tone.

La máquina Tele-Sonic era una mesa plana de una dimensión aproximada de 91 x 122 cm². Montados debajo de la máquina había dos ventiladores pequeños. El chorro de aire de estos ventiladores era dirigido por un tubo hacia la superficie de la mesa. En un hueco de la parte delantera de la mesa se guardaban setenta y cinco "packers". El "packer" superior de la mesa quedaba justo al mismo nivel que la superficie de la mesa. El lado abierto del "packer" estaba dirigido hacia el chorro de aire. El "packer" era mantenido en su posición por medio de dos abrazaderas pequeñas metálicas que se insertaban dentro del "packer" por su lado abierto. El aire del ventilador lo mantenía abierto de forma que una persona con una sola mano podía deslizar una pila de felicitaciones con sus correspondientes sobres dentro del "packer". En el mismo movimiento la mano podía liberar el "packer" y su contenido de los dos brazos metálicos mediante un empujón. Luego la otra mano podía coger el "packer" y colocarlo sobre otra mesa situada junto a la máquina Tele-Sonic. Cuando el "packer" salía de las abrazaderas metálicas un aparato que funcionaba con un resorte levantaba la pila de "packers" hasta que el siguiente "packer" llegaba al nivel de los brazos metálicos. Así la máquina quedaba automáticamente preparada para otro ciclo. Un estudio M.T.M. realizado por Bob Hayes dio un tiempo de 0,0374 minutos para realizar este ciclo, con la condición de que los sobres, las felicitaciones y los "packers" estuviesen disponibles en el momento necesario.

Como Bob Hayes había planificado el uso de la máquina Tele-Sonic (véase figura 4) antes de la entrega de la misma, pudo empezar a entrenar a los operarios el 24 de diciembre. La máquina entró en producción en el departamento de Embalaje el día 28 de diciembre. En los tres primeros días de utilización los cuatro operarios produjeron 4.065, 6.700 y 6.178 "packers" por día.

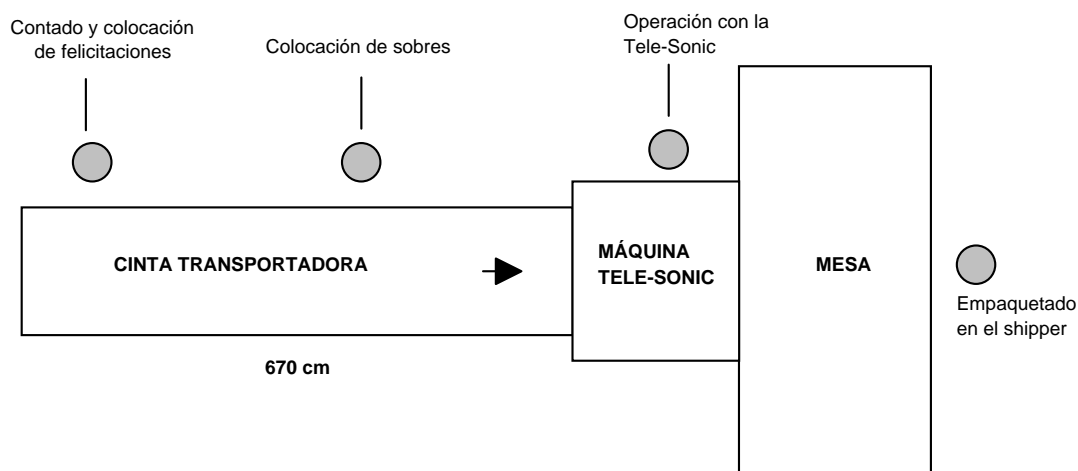


Figura-4: Plan para la máquina Tele-Sonic

Bob Hayes había calculado (en base al M.T.M.) que se necesitarían 0,042 minutos para colocar un paquete de sobres sobre la cinta transportadora según el método Tele-Sonic. Los mismos cálculos indicaban un tiempo de 0,03 minutos para contar y colocar 12 felicitaciones en la cinta y 0,024 para colocar un "packer" lleno dentro de un "shipper". Partiendo de estos cálculos Hayes decidió que el primer trabajador de la cinta contaría las felicitaciones y el segundo colocaría los sobres.

La primera semana de enero después de las fiestas de Año Nuevo la Srta. Hudson tenía 12 trabajadores operando con el método del operario único. Dado que el Sr. Hayes se había marchado y ella no se sentía capaz de entrenar a los siete operarios, la Srta. Hudson decidió que los cinco operarios ya experimentados enseñaran a los demás. Los operarios se desviaban del método desarrollado por Hayes. Realizaban los mismos movimientos manuales pero ninguno seguía cuidadosamente el plan que Hayes había establecido. Eran particularmente negligentes en cuanto a la colocación de las pilas de felicitaciones contadas. De vez en cuando una se caía y se mezclaba con otra. Como resultado los operarios perdían tiempo recogiendo felicitaciones.

Las felicitaciones corrientes estaban siendo procesadas no sólo por los doce operarios sino también mediante una cinta transportadora con la máquina Tele-Sonic y con una segunda que se utilizaba con el antiguo método de los seis operarios. La línea de los seis operarios nunca había superado una producción de 9.400 "packers" por día. Esta productividad había bajado hasta los 6.202 el día 28 de diciembre. El promedio de producción de la cinta durante el mes de diciembre fue de 9.100 "packers" por día. Con estos tres métodos se trataron todas las felicitaciones corrientes en el departamento de Embalaje. Un auxiliar de materiales servía las dos cintas transportadoras y un segundo auxiliar abastecía los doce operarios que utilizaban el método del operario único. Para las felicitaciones estacionales se utilizaban las dos cintas restantes del departamento. En cada una de estas cintas trabajaban seis operarios, y los nueve restantes ponían etiquetas en las cajitas y las colocaban en los "shippers".

En enero Art-Tone estaba considerando la posibilidad de introducir los "packers" en las felicitaciones estacionales. Hallmark ya los había utilizado en toda su línea de Navidad y Art-Tone estaba aguardando los resultados de una encuesta a los detallistas para decidir si cambiaba por los "packers" el empaquetado de sus felicitaciones estacionales. Si los detallistas aceptaban los "packers" de Hallmark, Art-Tone pensaba que todos los fabricantes de felicitaciones seguirían los pasos de Hallmark para evitar tanta variedad de embalajes en los detallistas.

Últimamente el Sr. Rorick había despedido al ayudante de la Srta. Hudson en el departamento de Embalaje y no tenía un sustituto previsto, por lo que vio que mientras el Sr. Suvall siguiera de baja tendría que seguir con la responsabilidad de las actividades del departamento de Embalaje.

Práctica-9: ESTUDIO DE TIEMPOS

A la vista de la situación en el departamento de Embalaje de Art-Tone Cards, el Sr. Rorick ha encargado diversos estudios que han conducido a algunas conclusiones. Una de ellas conduce a la reducción de las dimensiones de los shippers en los que ahora caben 6 packers. Se ha mejorado el diseño del puesto de trabajo asociado al método del operario único y se ha definido mejor dicho método.

El ciclo de trabajo para llenar un shipper consta de los siguientes elementos:

- A: Coger packers
- B: Coger sobres
- C: Coger shipper
- D: Contar postales (6 x 12 = 72 veces por ciclo)
- E: Llenar packers (6 veces por ciclo)
- F: Colocar packers en shipper
- G: Retirar shipper

Con el fin de determinar el tiempo tipo para llenar un shipper, se ha realizado un cronometraje. Los elementos cronometrados son los que siguen:

- 1: A+B
- 2: C
- 3: Contar una docena de postales
- 4: E+F
- 5: G

Los datos contenidos en el cronometraje se muestran en la tabla-1 (tiempo en centésimas de minuto y actividad en escala centesimal).

- (a) En estas condiciones: a) Estime el tiempo tipo de los elementos 1, 2, 3, 4 y 5.
- (b)Cuál es el intervalo de confianza de estas estimaciones con un riesgo de error del 5%?
- (c) Si se desea un intervalo de confianza menor que 1 centésima de minuto ¿cuántas observaciones se deben hacer de cada elemento?
- (d) Estime el tiempo normal representativo del ciclo. Dé un intervalo de confianza.
- (e) Calcule el tiempo tipo del ciclo y el tiempo para completar un packer teniendo en cuenta posibles suplementos.
- (f)Cuál es la producción por operario y hora exigible? ¿Y la óptima?
- (g) Por qué los elementos que se han cronometrado no coinciden con los iniciales: A, B, C, D, E, F y G?

Elm.	T	Act.	Elm.	T	Act.	Elm.	T	Act.	Elm.	T	Act.	Elm.	T	Act.
1	7	110	2	8	120	3	4	110	5	12	100	3	4	130
2	11	110	3	4	120	4	7	120	1	6	100	3	2	130
3	4	100	3	3	120	4	6	120	3	4	100	3	3	130
3	4	100	4	6	110	5	11	110	3	4	100	3	3	120
4	6	110	5	11	100	1	7	110	4	5	100	4	6	110
4	8	110	1	9	100	3	2	120	4	7	100	4	6	110
5	13	110	2	8	100	4	6	120	1	6	100	5	11	100
1	7	110	3	4	100	4	6	130	2	11	100	1	7	110
2	6	120	4	6	100	4	7	110	3	3	100	2	12	110
3	4	120	4	9	100	5	12	100	4	4	110	3	3	110
3	3	130	4	8	90	2	12	100	4	7	120	3	4	110
4	5	140	4	9	90	3	3	100	5	10	120	3	4	110
4	5	130	5	14	90	3	4	110	1	7	120	4	7	110
4	6	120	1	11	100	4	5	120	2	7	120	5	9	110
1	8	120	2	9	100	4	6	120	3	3	120	1	9	100
2	7	120	3	4	100	5	10	120	3	4	120	3	3	100
3	4	120	3	6	100	1	8	120	4	6	120	3	5	100
3	4	120	4	6	100	2	9	120	4	6	120	5	14	90
4	7	120	4	6	110	3	3	120	4	7	120	1	10	90
5	9	120	5	11	110	3	2	130	5	9	120	2	12	100
1	6	120	1	6	110	3	2	130	1	5	120	3	4	100
2	7	120	3	4	110	4	5	140	2	10	120	3	4	100
4	6	120	3	4	110	5	9	140	3	3	120	4	8	100
5	10	120	4	7	110	2	5	130	3	4	120	4	8	100
1	7	120	4	6	110	3	2	130	4	5	120	5	11	100
2	8	130	5	11	110	3	2	130	4	5	120	1	7	100
3	3	110	1	7	110	3	3	130	4	5	120	2	8	100
4	5	110	3	11	110	3	3	120	5	8	120	3	4	110
5	10	120	3	4	110	4	6	120	1	5	120	4	8	110
1	8	120	1	7	110	4	6	110	3	4	110	4	6	110

Tabla-1: Datos sobre elementos (Elm.), tiempos (T) y actividad (Act.)

Práctica-10: INTERFERENCIAS

Se está proyectando un taller para fabricar 225 piezas/hora de tipo a y 100.000 piezas/hora de tipo b. Las piezas a se producen en unas máquinas A y el ciclo consta de los siguientes elementos:

- montar y poner en marcha 0,9 minutos
- supervisión 0,2 minutos
- mecanizado 5,3 minutos
- desmontaje 0,3 minutos

de los cuales el primero y el cuarto se realizan con la máquina parada y el segundo con la máquina en marcha (el tercero lo hace la máquina automáticamente).

n°	avería	arranque	n°	avería	arranque
1	0 33.65	0 37.70	25	12 25.49	12 29.44
2	0 44.92	0 48.86	26	12 58.99	13 3.03
3	0 56.07	1 0.05	27	13 17.12	13 21.03
4	1 0.08	1 4.06	28	13 40.46	13 44.42
5	1 39.80	1 43.76	29	13 51.31	13 55.34
6	3 1.78	3 5.86	30	14 20.12	14 24.10
7	3 14.59	3 18.53	31	14 44.31	14 48.25
8	3 19.69	3 23.74	32	15 31.72	15 35.69
9	3 30.72	3 34.69	33	15 37.02	15 40.98
10	3 39.11	3 43.05	34	15 50.81	15 54.82
11	4 12.66	4 16.62	35	16 14.53	16 18.48
12	4 51.95	4 55.93	36	16 41.20	16 45.13
13	5 24.66	5 28.68	37	17 7.30	17 11.27
14	5 50.48	5 54.51	38	18 8.86	18 12.94
15	6 8.04	6 11.98	39	18 13.86	18 17.90
16	6 18.20	6 22.19	40	19 28.51	19 32.54
17	7 46.14	7 50.17	41	20 23.14	20 27.22
18	7 57.56	8 1.50	42	21 23.06	21 27.09
19	8 57.21	9 1.25	43	21 32.92	21 36.86
20	11 1.90	11 5.96	44	21 45.54	21 49.54
21	11 16.78	11 20.73	45	21 56.38	22 0.32
22	11 35.12	11 39.17	46	22 48.19	22 52.28
23	11 50.45	11 54.52	47	23 43.78	23 47.87
24	12 3.94	12 7.93	48	24 21.06	24 25.05

Se indica el número de incidencia, la hora y minuto de aparición de la misma y la hora y minuto de arranque una vez solventada la incidencia.

Tabla-1: Datos sobre las incidencias

En cuanto a las piezas b existen unas máquinas B que las producen automáticamente a un ritmo de 3600 piezas/hora, pero de vez en cuando se encallan y se precisa entonces una intervención manual que dura, incluido el desplazamiento, unos 4 minutos, con muy poca variabilidad.

En otro taller de la misma empresa hay máquinas B funcionando y observando una durante todo un día se han podido obtener datos sobre la aparición de averías (ver tabla-1).



Práctica-11: DETERMINACIÓN DE LA FIABILIDAD DE UN SISTEMA (1)

PARTE-1

Un club deportivo nos encarga la organización de una expedición en autocares a una ciudad europea donde se juega un partido trascendental. Hay 15000 entradas vendidas y los autocares tienen una capacidad de 50 plazas. Establecer un procedimiento para determinar cuantos autocares conviene que formen parte de la expedición.

PARTE-2

En una explotación agrícola hay una bomba para alimentar el sistema de irrigación. La bomba debe accionarse mediante un motor eléctrico al cual le suministra la energía un generador. Se dispone de un motor de 220 V y de uno de 380 V, así como de un generador de 220 V, de otro de 380 V y de un transformador 220/380. Las leyes de supervivencia de estos elementos en función del número de días de riego se ajustan adecuadamente a la ley exponencial, siendo la edad media de la aparición de la avería de 2500 días para los generadores, 3000 días para los motores eléctricos, 4000 días para el transformador y 2000 días para la bomba, tras considerar las condiciones ambientales de explotación del sistema.

Teniendo en cuenta que se riega 200 días al año:

- (a) ¿Cuál es la probabilidad a priori de poder regar después de un año de riego en el supuesto de que la bomba funcione con toda seguridad?
- (b) ¿Y si considera la fiabilidad de la bomba después de dos años sin que se haya producido ninguna renovación de cualquiera de los elementos?
- (c) ¿Cuál de las posibles instalaciones recomienda como la más fiable anualmente en un horizonte de 5 años?

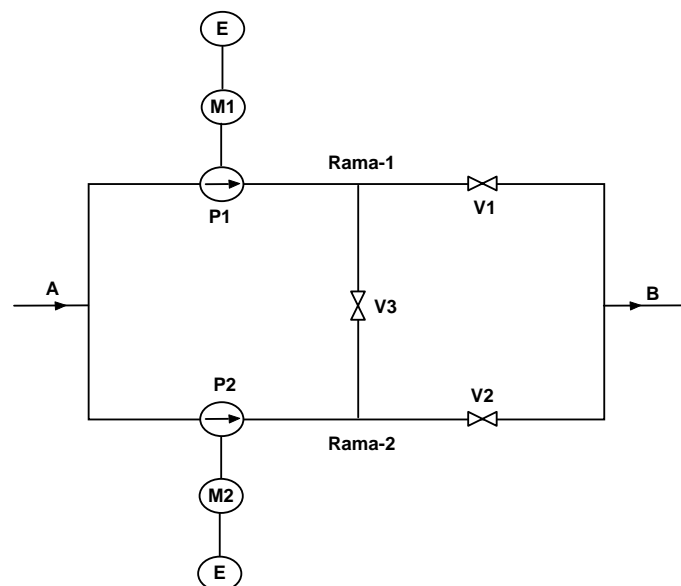
El coste de no poder regar una vez por falta de funcionamiento del sistema es K . Considerando una tasa de interés del 4,5 % anual y un horizonte de inversión de 5 años.

- (d) ¿Cuánto se podría pagar por un motor de 380 V idéntico al existente?
- (e) ¿Y por una nueva bomba?



Práctica-12: DETERMINACIÓN DE LA FIABILIDAD DE UN SISTEMA (2)

El lazo frío del sistema de refrigeración de un reactor tiene dos bombas (P1 y P2) capaces de suministrar, individualmente a través de sus ramas, el flujo requerido entre los puntos A y B. Tal como se muestra en la figura adjunta, las bombas están accionadas por dos motores (M1 y M2) con suministro eléctrico común (E). Las ramas se pueden conectar a través de un puente cuyo paso se regula mediante una válvula de accionamiento manual (V3); por supuesto, cada rama dispone además de su válvula correspondiente (V1 y V2) con posición normal en *abierto*.



Cuando el reactor está activado, se requiere flujo entre A y B: si esto no sucede, se dice que el sistema de refrigeración falla.

Bajo estos supuestos:

- Determinar la función lógica de estructura del sistema, así como su función de fiabilidad.
- Qué probabilidad de funcionamiento correcto presenta el sistema en un cierto instante en que la probabilidad de fallo para cada bomba, cada motor y el sistema de suministro eléctrico es 0.10, 0.05 y 0.15, respectivamente, considerando que las tres válvulas están en posición de abierto y sin riesgo momentáneo de fallo.
- Cómo afecta al caso anterior el hecho de que cualquier válvula pueda quedar bloqueada con probabilidad 0.10.
- Teniendo en cuenta que la ley de supervivencia de cualquiera de los dos motores se puede expresar de la forma: $v(t) = 1 - 10^{-6}t^2$ (t en horas), y que su sustitución cuesta 2000 um, y si se produce una avería cuesta adicionalmente 1000 um.
- Qué tasa de avería y vida media presenta un motor después de 500 h de funcionamiento.
- Qué resulta más económico: explotar un motor hasta que falla o cambiarlo por uno nuevo a las 500 h de funcionamiento.

Práctica-13: RENOVACIÓN DE EQUIPOS

Un taller consta de dos máquinas A y B cuyas edades influyen en su rendimiento conjunto. Si al comenzar un año de trabajo, ambas máquinas son nuevas, el taller puede llegar a fabricar hasta 10.000 piezas durante ese año; sin embargo, cuando las edades de las máquinas, al iniciarse la explotación anual, son distintas de cero, la tasa de producción anual del taller disminuye tal como se muestra en la tabla-1

Edad A / Edad B	0	1	2	3
0	10.000	9.200	8.200	< 5.000
1	9.400	8.400	7.200	< 5.000
2	8.600	7.300	5.900	< 5.000
3	< 5.000	< 5.000	< 5.000	< 5.000

Tabla-1: Tasas anuales de producción del taller en función de las edades de A y de B

No se considera conveniente explotar el sistema cuando la tasa de producción anual es inferior a 5.000 piezas, por ello, se supone que cuando cualquiera de las dos máquinas alcance su tercer año de explotación se deberá sustituir por una nueva. Se supone también que todas las piezas producidas se pueden colocar en el mercado con un margen de 1 um/pieza.

Una máquina A nueva cuesta 6.000, mientras que una B cuesta 4.000 um. El valor residual de cada máquina depende de la edad que tiene cuando se sustituye (ver tabla-2).

Edad	0	1	2	3
Máquina A	5.500	4.000	2.500	1.000
Máquina B	3.500	2.800	1.800	800

Tabla-2: Valores residuales de A y de B en función de sus edades

Suponiendo que el horizonte de explotación del sistema es de 6 años, que al iniciarse la explotación se dispone de máquinas nuevas ya adquiridas, y que al terminar la explotación recuperamos el valor de las máquinas.

- Estudie la política óptima de sustitución sin tener en cuenta la actualización y sólo decidiendo sobre la renovación de la máquina A (la máquina B sólo se sustituirá cuando alcance la edad de 3 años).
- Idem al apartado a, pero sólo decidiendo sobre la renovación de la máquina B (la máquina A sólo se sustituirá cuando alcance la edad de 3 años).
- Idem a los apartados a y b con tasa de actualización del 12% anual.
- Considere, también para un horizonte de 6 años, la posibilidad de decidir sobre la renovación de ambas máquinas con y sin actualización.



DOE

www.nissanchair.com

Práctica-14: RENOVACIÓN ANTES DE LA AVERÍA

Un motor que interviene en un proceso productivo lleva cuatro válvulas idénticas. La avería de cualquiera de ellas obliga a parar el proceso una media de 4 horas en horario productivo.

Tanto si se cambia una válvula como más de una, hay que hacer unas operaciones de desmontaje (1 hora) y de montaje (2 horas); además se requiere 1/4 de hora para cada válvula que se cambia y, si ha habido avería, 1 hora y media para operaciones adicionales de limpieza y otras.

Si se cambia una válvula sin que previamente haya avería, las operaciones pueden realizarse en horas no productivas.

Por cada hora de paro del proceso, la disminución de beneficios es de 10.000 um. El servicio de mantenimiento del motor corre a cargo de una empresa especializada, que lo factura a 2000 um/h más 1000 um en concepto de desplazamiento. Las válvulas cuestan 3000 um cada una.

Se trata de plantear y comparar políticas de renovación del motor.

Las probabilidades de que una válvula esté en buenas condiciones después de 100, 2100 y 3080 horas de funcionamiento son, respectivamente, 0,99, 0,98 y 0. Entre estos puntos, la variación se considera prácticamente lineal.



Práctica-15: ITINERARIOS

Los ejercicios propuestos hacen referencia a alguna de las figuras 1 a 4.

En ellas se representa sobre una retícula la posición del almacén (simbolizado con un pequeño cuadrado y con código 0) y de los clientes (simbolizados con pequeños círculos negros y con códigos correlativos a partir del 1, que aparecen junto al símbolo correspondiente). La relación entre el *almacén* y los *clientes* es susceptible de interpretaciones múltiples (reparto, recogida de materiales o de información, recogida de artículos en un almacén de recambios para llevarlos al lugar en que se preparan las expediciones, etc.) En unos ejercicios se supone que la distancia es euclídea y en otros rectangular; estos supuestos son cómodos porque permiten calcular fácilmente las distancias a partir de datos poco voluminosos; en las aplicaciones reales deberíamos calcular las distancias a partir de una información suficiente sobre la red viaria.

La distribución de los clientes sobre el plano en las figuras corresponde a esquemas claramente diferenciados. En la figura 1 los clientes forman, aproximadamente, dos coronas en torno al almacén; este tipo de distribución da lugar generalmente a soluciones muy distintas al aplicar los algoritmos de Clarke y Wright y de Gillet y Miller. En la figura 2 los clientes se encuentran situados a lo largo de unas líneas que podían corresponder a valles, carreteras importantes, etc. Los clientes de la figura 3 se han situado, al azar, sobre los nudos de la retícula. Finalmente, en la figura 4 los clientes forman unos grupos claramente distinguibles (podemos suponer que cada grupo corresponde a una población distinta).

De hecho, a partir de estas figuras, combinando distribuciones de clientes sobre el plano, demandas, tipos de distancia, capacidades de los vehículos, límites máximos de distancia o tiempo y objetivos a optimizar, se puede generar un número muy grande de ejercicios. Los que se incluyen a continuación constituyen una muestra, que el lector puede ampliar si desea profundizar en el comportamiento de los algoritmos para distintos tipos de problema.



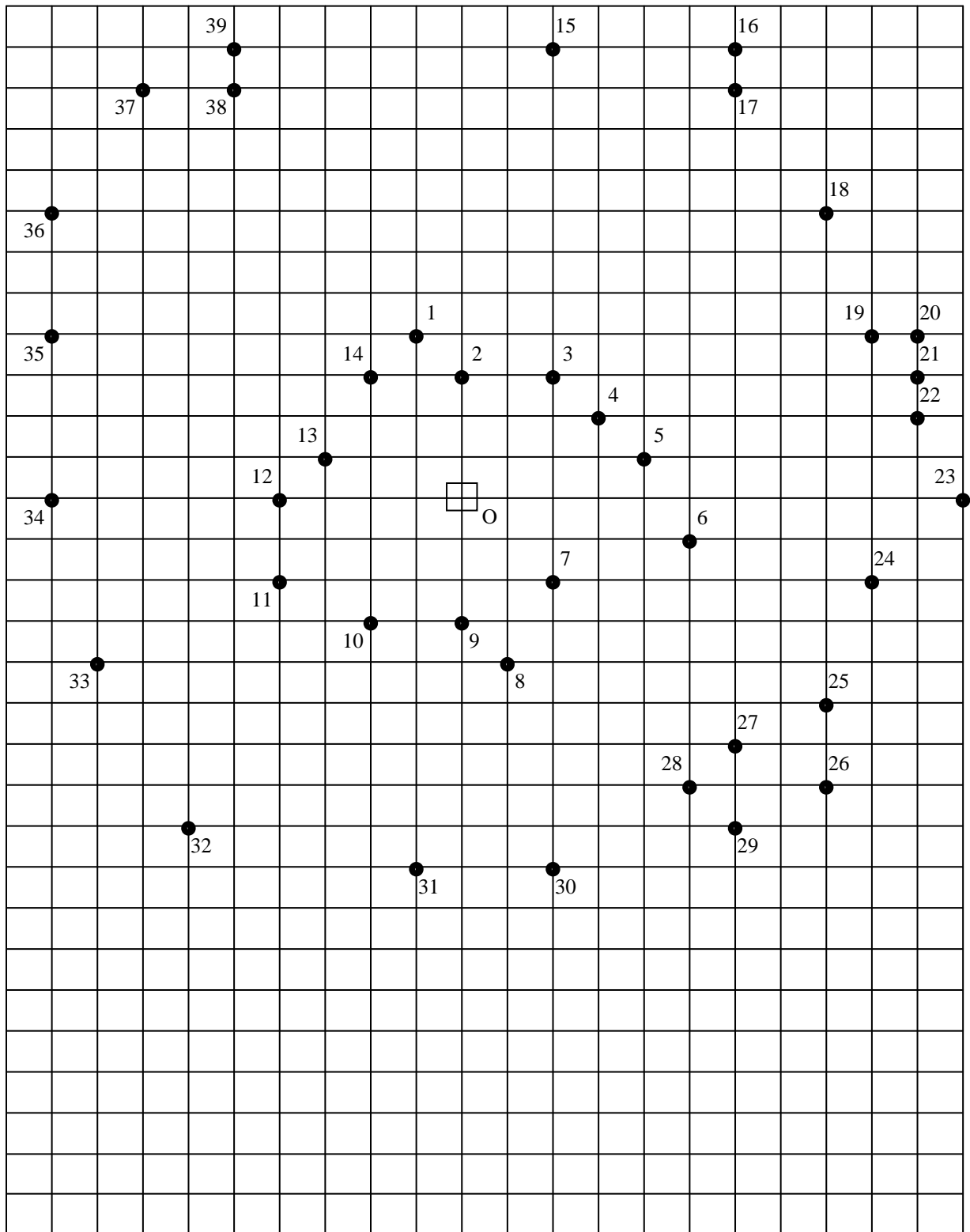


Figura 1

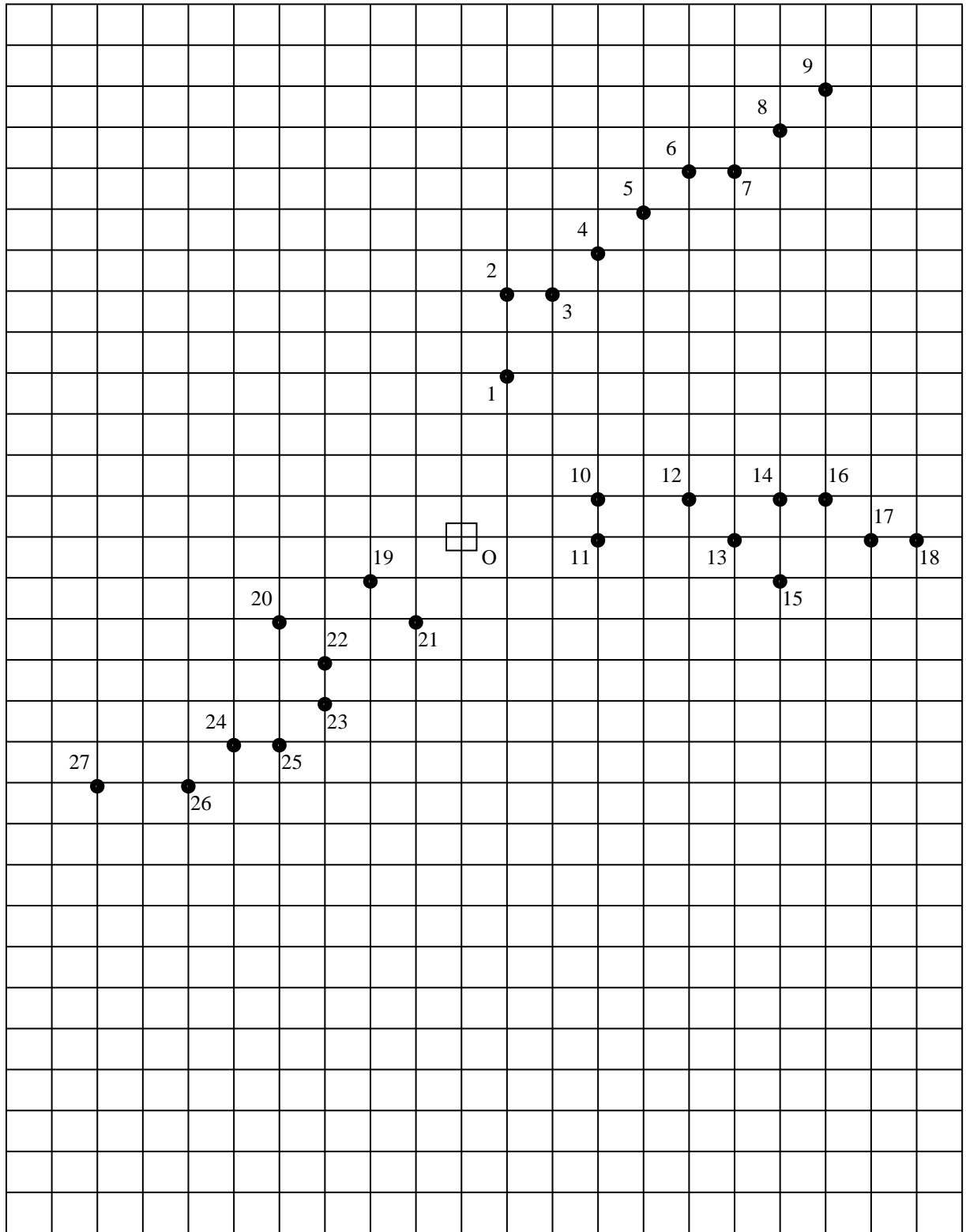


Figura 2

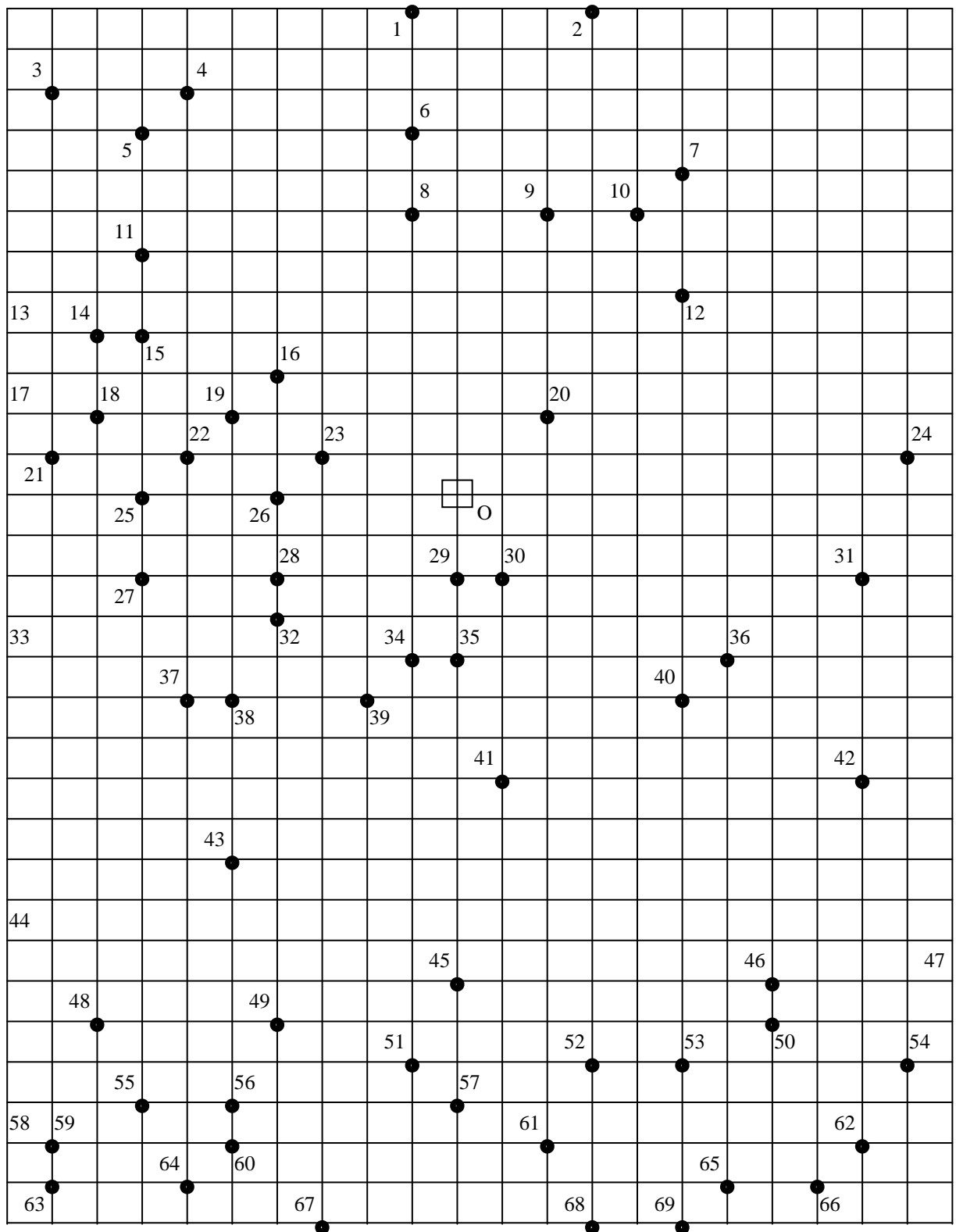


Figura 3

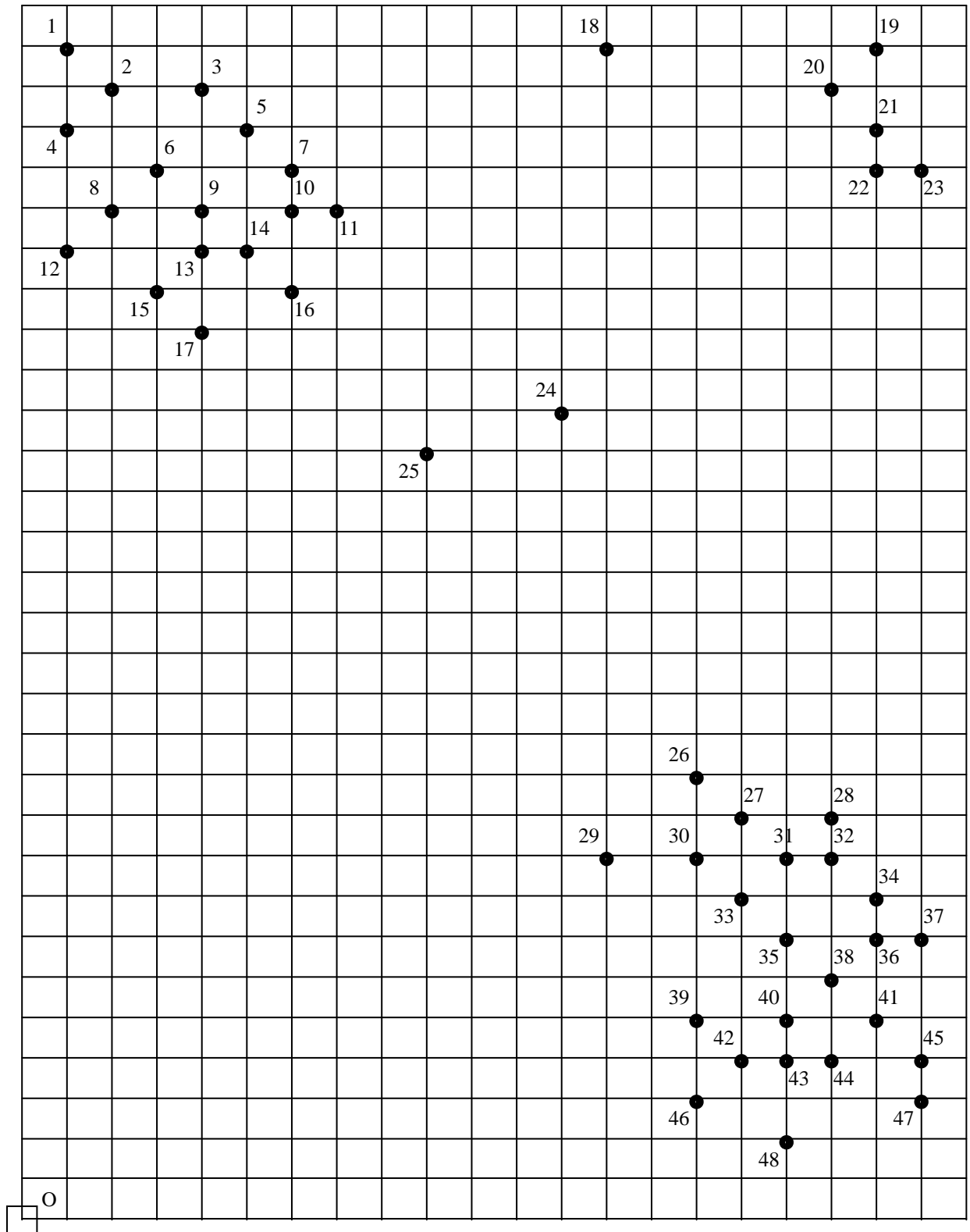


Figura 4

Ejercicio 1

En la **figura 1** los lados de los cuadrados que constituyen la retícula son iguales a 1 Km. Las demandas de los clientes se indican a continuación (en primer lugar se indica el código del cliente y, entre paréntesis, su demanda, en unidades):

1(1), 2(8), 3(3), 4(4), 5(2), 6(6), 7(9), 8(4), 9(2), 10(8), 11(3), 12(1), 13(3), 14(7), 15(8), 16(3), 17(5), 18(3), 19(8), 29(1), 21(7), 22(4), 23(17), 24(5), 25(4), 26(4), 27(4), 28(5), 29(5), 30(5), 31(3), 32(2), 33(6), 34(5), 35(3), 36(5), 37(7), 38(5), 39(8)

Disponemos de vehículos con capacidad para 50 unidades. Para las distancias entre los puntos adoptamos la distancia euclídea.

Deseamos hallar una solución en que la distancia total recorrida sea mínima.

Ejercicio 2

Con los mismos datos del ejercicio anterior, deseamos encontrar una solución que utilice el menor número de vehículos posible y, entre ellas, la que tenga un recorrido total menor.

Ejercicio 3

Con los mismos datos y el mismo objetivo que en el **ejercicio 1**, pero con distancia rectangular.

Ejercicio 4

Con los mismos datos y el mismo objetivo que en el **ejercicio 2**, pero con distancia rectangular.

Ejercicio 5

En la **figura 2** los lados de los cuadrados que constituyen la retícula son iguales a 10 Km y la distancia entre puntos es rectangular. Las demandas diarias de los clientes (que se mantienen estables a lo largo del tiempo), se indican a continuación (en primer lugar se indica el código del cliente y, entre paréntesis, su demanda, en unidades):

1(28), 2(13), 3(5), 4(30), 5(51), 6(24), 7(39), 8(45), 9(43), 10(71), 11(26), 12(80), 13(5), 14(34), 15(9), 16(90), 17(99), 18(99), 19(63), 20(44), 21(89), 22(98), 23(1), 24(73), 25(79), 26(96), 27(13).

Suponiendo unos costes anuales de los vehículos, crecientes con su capacidad, unos costes por km recorrido, crecientes asimismo con la capacidad del vehículo y unos



costes horarios independientes de la capacidad, así como una velocidad media de circulación, se trata de determinar, para una flota homogénea, la capacidad de los vehículos.

Ejercicio 6

La demanda de los clientes de la **figura 3** es la misma para todos ellos, igual a una unidad de producto. Disponemos de vehículos con capacidad para 4 unidades y deseamos determinar las rutas de modo que el recorrido total sea mínimo, con distancia rectangular.

Ejercicio 7

La demanda de los clientes de la **figura 4** es la siguiente (en primer lugar se indica el código del cliente y, entre paréntesis, su demanda, en unidades):

1(1), 2(2), 3(1), 4(1), 5(2), 6(2), 7(2), 8(1), 9(1), 10(1), 11(1), 12(1), 13(1), 14(2), 15(2), 16(2), 17(2), 18(2), 19(1), 20(1), 21(1), 22(1), 23(1), 24(2), 25(2), 26(2), 27(2), 28(2), 29(2), 30(2), 31(1), 32(1), 33(1), 34(1), 35(1), 36(1), 37(1), 38(2), 39(2), 40(2), 41(2), 42(2), 43(2), 44(2), 45(2), 46(1), 47(1), 48(1)

El lado de los cuadrados de la retícula es igual a 2 km. La velocidad de circulación media es igual a 60 km/h en el desplazamiento almacén/cliente o viceversa e igual a 30 y 15 km/h, respectivamente, para los desplazamientos entre los clientes situados al N (del 1 al 25) y al S; para los desplazamientos N/S o viceversa, la velocidad es de 40 Km/h. El tiempo medio para la descarga del producto en un cliente, incluyendo esperas, es de 15 minutos.

Consideramos distancia euclídea para los pares almacén/cliente y N/S y distancia rectangular para los otros pares de clientes. La capacidad de los vehículos es la misma para todos, igual a 20 unidades.

Deseamos una solución con número mínimo de vehículos y, secundariamente, en que el tiempo total necesario para la distribución del producto (la suma de los tiempos de todos los vehículos) sea mínimo.