

5.4 Enunciados

5.4.1 SCUMOSA (Suministro de Cocinas Modulares S.A.) instala cocinas para colectividades y establecimientos de hostelería en plazos muy breves, gracias al diseño modular de sus productos y a sus stocks de subconjuntos.

La política de SCUMOSA, por lo que respecta a los stocks, garantiza, aproximadamente, que cuando se necesita un subconjunto, éste está disponible con una probabilidad del 99%.

Supóngase que SCUMOSA recibe un pedido de una cocina que consta de cuatro partes (A , B , C y D). De acuerdo con las especificaciones del cliente, para A se puede utilizar cualquiera de los subconjuntos A_1 , A_2 y, para D , cualquiera de los tres D_1 , D_2 y D_3 ; por lo que respecta a B y C sólo son admisibles, respectivamente, los subconjuntos B_1 y C_1 . Sin embargo, el par (B, C) puede ser substituido por el subconjunto J_1 .

- a) ¿Con qué probabilidad podrá SCUMOSA proceder inmediatamente a la instalación, en el caso de este pedido?
- b) ¿Con qué probabilidad deberían estar disponibles los subconjuntos para que la probabilidad de instalar inmediatamente, en un caso como el descrito, fuese por lo menos del 99%?

5.4.2 Cierta artículo tiene una demanda anual de 360.000 unidades, sin estacionalidad apreciable, y con una variación aleatoria muy pequeña. El coste de lanzar un pedido es de 75.000 PTA, el precio de compra es de 400 PTA/unidad y por cada unidad en stock se carga un coste de posesión anual del 20% del precio de compra. ¿Cuántos pedidos y por qué cantidad conviene hacer al año?

5.4.3 En relación al artículo del enunciado anterior, cuando nos queda un stock de 56.000 unidades, nos visita un vendedor, y nos anuncia que el precio de compra subirá a 500 PTA/unidad, pero todavía podemos hacer un último pedido al precio antiguo. ¿Interesa hacer este último pedido? ¿Por qué cantidad?

5.4.4 La señora María José Giner es una valenciana establecida desde hace muchos años en Barcelona, donde regenta el conocido establecimiento "L'Alegre Valenciana", dedicado a la venta de turrone y otros productos alimenticios típicos.

Durante la temporada de verano vende, como es lógico, horchata de chufa, que se ha hecho famosa por su calidad y sabor, y precisamente en relación a la horchata se le presenta un problema que no sabe cómo resolver. Cada noche tiene que preparar la cantidad necesaria para el día siguiente, ya que dado el largo proceso de elaboración no puede hacer más durante el día, y, por otra parte, para el día siguiente no se conservaría en las debidas condiciones de calidad e incluso podría echarse a perder completamente. La cuestión es, naturalmente, qué cantidad de horchata debe preparar para cada día.

La horchata se puede vender en consumiciones en el mismo establecimiento, o bien a granel para llevársela los clientes. Una consumición se sirve en un vaso de 200 cc de capacidad, y se vende a 85 PTA. La venta a granel se hace a un precio de 175 PTA/litro. Fabricar un litro de horchata cuesta 95 PTA.

La demanda durante las diez semanas de más calor del año pasado fueron las siguientes:

Lu	C	1.370	1.519	1.215	1.188	1.283	1.495	1.398	1.265	1.426	1.375
	G	32	31	28	34	29	36	27	23	31	30
Ma	C	1.267	1.403	1.255	1.208	1.319	1.385	1.380	1.537	1.269	1.384
	G	31	31	33	27	31	35	29	33	31	32
Mi	C	1.265	1.386	1.301	1.248	1.261	1.294	1.218	1.165	1.276	1.405
	G	29	34	30	32	29	31	33	33	29	33
Ju	C	1.401	1.179	1.233	1.311	2.326*	1.383	1.353	1.378	1.266	1.175
	G	34	30	31	33	101*	30	26	31	29	26
Vi	C	1.219	1.169	1.245	1.138	1.343	1.295	1.326	1.278	1.383	1.333
	G	27	34	29	32	31	38	24	26	34	32
Sa	C	2.345*	2.549*	2.315*	2.617*	2.472*	2.451*	2.608*	2.523*	2.451*	2.384*
	G	102*	97*	98*	114*	118*	106*	96*	92*	111*	114*
Do	C	2.471*	2.461*	2.233*	2.188*	2.241*	2.108*	2.043*	2.137*	2.224*	2.319*
	G	82*	101*	93*	107*	92*	84*	112*	115*	91*	94*

donde las C indican número de consumiciones, y G número de litros vendidos a granel. Los días marcados con * son días festivos, en los que la demanda es claramente diferente de la de los otros días. ¿Qué aconsejaría, a la vista de estos datos?

5.4.5 La demanda semanal, x , de cierto artículo fabricado en Honolulu se puede aproximar mediante la expresión:

$$x = 24 + y$$

donde y es una variable aleatoria que se distribuye según una ley de Poisson de media 1. Deseamos analizar los parámetros de la gestión del stock de este artículo mediante punto de pedido. El plazo de entrega del mismo es de 2 semanas, el artículo tiene un coste fijo de adquisición de 200 dólares por pedido, y una variable de 20 dólares/unidad. Como coste de posesión cargamos el 26% anual del capital inmovilizado. La ruptura de stock representa el paro de una de nuestras líneas de producción hasta que el artículo llega, lo que da un coste proporcional al tiempo de paro, que para simplificar estimamos en 1.000 dólares/unidad demandada en ruptura.

- a) Suponiendo que el punto de pedido se fija en 50 unidades y el lote de pedido en 200 unidades, ¿cuántos paros de línea anuales se producirán en promedio?
- b) ¿Cuál será el coste de la gestión con los parámetros anteriores?
- c) Si el lote lo seguimos fijando en 200 unidades (lo que cabe en un contenedor), ¿cuál sería el punto de pedido adecuado? ¿Cuál sería ahora el coste anual de gestión?
- d) Suponiendo que el lote fuese modificable en forma continua (redondeando a la unidad), ¿cuáles serían ahora los valores óptimos de los parámetros de gestión?, ¿y el coste anual de la misma?

5.4.6 La demanda semanal de cierto artículo es aleatoria y se adapta a una distribución normal, de media 25 unidades y de desviación tipo 10 unidades. Los costes fijos de adquisición son de 2.000 PTA/pedido y el variable de 500 PTA/unidad. El coste de posesión se calcula mediante una tasa anual del 20% sobre el inmovilizado. El plazo de entrega es de 6 semanas. La demanda insatisfecha inmediatamente, por rotura de stock, se pierde.

Se ha elegido una gestión por punto de pedido y se pregunta:

- a) ¿Cuál será el punto de pedido si se desea que la proporción de ciclos con ruptura de stock no supere el 2,5% de los mismos.
- b) Suponiendo que se utiliza un lote de pedido de 100 unidades, ¿cuál será el punto de pedido si se desea que la demanda insatisfecha perdida no supere las 25 unidades anuales.

- c) Suponiendo que el lote de pedido utilizado es de 100 unidades y el punto de pedido 160, dibujar el gráfico que representa la evolución del stock (en sus diversas acepciones) a lo largo de 10 semanas. La demanda en estas 10 semanas será:

30, 28, 25, 20, 10, 30, 35, 32, 40, 35

Las condiciones iniciales de stock y de pedidos las elegirá usted coherentemente con los datos del problema.

- d) Supongamos que evaluamos el coste de ruptura en 250 PTA/unidad. ¿Cuáles serían los parámetros de las reglas de gestión por punto de pedido?

5.4.7 El consumo semanal de un producto industrial sigue la siguiente ley:

nº unidades	0	1	2	3	4	5	6	7	8
probabilidad	0,05	0,10	0,20	0,25	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02

La adquisición del artículo, directamente del fabricante, tiene las siguientes características:

coste fijo de adquisición 200 PTA/pedido
 coste variable (precio de compra) 200 PTA/unidad
 coste de posesión 20% anual sobre el inmovilizado
 plazo de entrega 1 semana

Si el artículo no está disponible en el almacén cuando se necesita, se sule con otro más caro, que siempre está a disposición, de precio 250 PTA/unidad (se adquiere sin plazo de entrega apreciable, en las cantidades requeridas y sin coste fijo adicional).

- a) Determinar los parámetros óptimos de gestión por punto de pedido. Con dichos parámetros, ¿cuál es la probabilidad de ruptura por ciclo?, ¿cuál es el número anual de artículos de calidad superior esperado, adquiridos en substitución de los normales por causa de la ruptura de stock?
- b) El plazo de entrega se transforma en 2 semanas, y no deseamos incrementar el número de artículos adquiridos de calidad superior; ¿qué valores tomarán ahora los parámetros de gestión?
- c) Volviendo a las condiciones de (a), suponemos que la adquisición de productos substitutivos comportan un coste fijo de 500 PTA/pedido (coste de la gestión de urgencia, transporte, etc.). Este coste sólo se produce cuando hay ruptura de stock; ¿qué valores tomarán ahora los parámetros de gestión?

5.4.8 El consumo semanal de cierto artículo, durante el año precedente, ha sido:

sem.	dem.	sem.	dem.	sem.	dem.	sem.	dem.
1	7	14	9	27	10	40	4
2	6	15	8	28	6	41	6
3	6	16	5	29	7	42	8
4	n.d.	17	8	30	8	43	10
5	4	18	6	31	4	44	6
6	9	19	4	32	5	45	4
7	7	20	7	33	7	46	7
8	5	21	6	34	7	47	8
9	8	22	10	35	9	48	5
10	7	23	7	36	n.d.	49	8
11	8	24	5	37	6	50	8
12	9	25	8	38	7	51	6
13	6	26	10	39	10	52	9

n.d. = no disponible

Se supone que el consumo está estabilizado, que no es estacional y que sus fluctuaciones son totalmente aleatorias e independientes de una semana a otra.

El artículo se adquiere a un gran fabricante al precio de 2.000 PTA/unidad. El fabricante sirve las cantidades solicitadas con un plazo desde la comunicación del orden de 2 semanas. Si se produce ruptura de stock, el artículo debe substituirse por uno de mayor calidad disponible en gran cantidad a través de pequeños detallistas al precio medio de 4.500 PTA/unidad. La empresa asigna a los stocks una carga anual del 26% del inmovilizado.

- Suponiendo que la empresa utiliza un procedimiento de gestión por punto de pedido para este artículo, con lotes de aprovisionamiento de 50 unidades, ¿cuál debe ser el punto de pedido para que el número de unidades de calidad (y precio) superior a adquirir anualmente no supere en promedio las 20?
- Suponiendo que los lotes siguen fijados en 50 unidades, ¿cuál sería el punto de pedido que daría un menor coste de gestión?, ¿cuál sería el número medio de unidades de calidad superior a adquirir anualmente?
- En las condiciones de b), ¿cuál sería el coste fijo de reaprovisionamiento utilizado implícitamente?

5.4.9 El consumo semanal de cierto artículo fue durante el pasado año el siguiente:

sem.	cant.	sem.	cant.	sem.	cant.	sem.	cant.
1	6	14	8	27	7	40	9
2	8	15	6	28	9	41	7
3	5	16	9	29	7	42	6
4	7	17	8	30	6	43	5
5	9	18	6	31	7	44	6
6	6	19	5	32	8	45	7
7	7	20	4	33	6	46	8
8	8	21	6	34	5	47	7
9	7	22	5	35	7	48	6
10	6	23	8	36	6	49	7
11	5	24	7	37	6	50	4
12	7	25	6	38	5	51	6
13	6	26	7	39	4	52	5

Se considera que no existe estacionalidad ni tendencia creciente o decreciente. El artículo se adquiere en lotes de 50 unidades a precio de 100 PTA/unidad; el coste fijo de pasar un pedido es de 1.200 PTA/pedido; y el plazo de entrega de 2 semanas. En caso de ruptura de stock se substituye el artículo por otro de mayor calidad, siempre disponible en el mercado en plazo inmediato y sin coste fijo, cuyo precio es de 400 PTA/unidad. La empresa considera como coste de stock un 20% anual del inmovilizado.

- a) Suponiendo que en el año en curso el consumo del artículo seguirá la misma tónica que el año anterior y que se mantiene la adquisición en lotes de 50 unidades del artículo barato, ¿cuál será el punto de pedido si se desea que las compras del artículo caro debidas a la ruptura de stock no superen, en promedio, el 5% del consumo?
- b) Manteniendo el lote en 50 unidades, ¿cuál sería el punto de pedido que minimizaría los costes? En este caso, ¿qué parte del consumo sería atendida por el artículo caro?
- c) ¿Es adecuado el tamaño de lote? En caso de poder fijar un tamaño de lote cualquiera, ¿cuáles serían el tamaño de lote y el punto de pedido que minimizarían los costes?

5.4.10 El consumo diario de un componente durante los últimos 100 días laborables ha sido:

8	12	7	11	13	18	10	16	11	9	13
12	14	10	9	15	15	8	10	13	11	8
7	17	13	15	10	9	12	9	16	17	14
16	9	15	13	8	11	15	12	7	13	18
15	11	17	16	14	12	16	14	9	15	10
10	18	14	8	13	15	13	17	11	9	9
7	16	13	11	14	12	9	10	16	16	15
12	8	10	12	11	9	15	18	14	8	10
15	13	16	13	15	9	11	17	15	13	10
7										

Este componente se aprovisiona en lotes de 250 unidades (cantidad que corresponde aproximadamente a un mes de consumo), y nos la suministra un proveedor especializado al precio de 12 PTA/unidad, a los cuatro días de haber cursado el pedido. Si se produce ruptura de stock se substituye el componente por otro de mayor calidad y precio, siempre disponible en el mercado, que nos cuesta 35 PTA/unidad.

El coste de posesión de stock se contabiliza al 20% anual del inmovilizado medio. Se estima que el coste de pasar un pedido al proveedor, incluyendo administración, transporte, verificación y entrada en almacén es de 300 PTA/pedido, mientras que los trámites necesarios para adquirir los elementos substitutivos representan 1.000 PTA por ruptura de stock.

- ¿Cuál será el punto de pedido si se desea reducir el número de rupturas de stock de la componente a menos de 1 al año (en promedio)?
- Ídem si se desea que el número medio de unidades substitutivas adquiridas al año sea inferior (en promedio) a 15.
- Manteniendo el lote comprado al proveedor en las 250 unidades, ¿cuál sería el punto de pedido que nos daría coste mínimo de gestión?

5.4.11 El coronel Blotto ha sido nombrado asesor del Alto Mando en logística y gestión científica. Uno de los temas que debe tratar y para el que ha solicitado nuestra colaboración se refiere al control de los almacenes de equipos de campaña. Dada la estabilidad actual de efectivos del Ejército, la demanda de botas es homogénea en el tiempo, y se ajusta sensiblemente, para cada una de las tallas, a distribuciones normales de la siguiente forma:

TALLA	MEDIA (pares/semana)	DESVIACIÓN TIPO (pares/semana)
A (7,0)	35	2,0
B (7,5)	50	2,5
C (8,0)	60	3,0
D (8,5)	75	4,0
E (9,0)	80	4,0
F (9,5)	70	3,5
G (10,0)	60	3,0
H (10,5)	40	2,0
I (11,0)	25	1,5

Se ha observado que la demanda de una talla es independiente de la demanda de otra talla distinta y, aunque en ciertos casos se puede suplir la ausencia de una talla con botas de las tallas inmediatamente inferior o superior, no se tendrá en cuenta este fenómeno. El Reglamento del Ejército exige que toda demanda de botas sea atendida, de una forma u otra, dentro de las 24 horas siguientes.

Las botas se adquieren normalmente en lotes de 500 pares, a un precio unitario de 4 dólares/par, siendo el plazo de entrega de 4 semanas. En caso de necesidad se substituye el modelo por el más similar que se encuentre en el mercado con entrega inmediata, lo que suele costar, incluyendo los trámites, 30 dólares/par.

Las normas en vigor llevan a considerar que cada pedido tiene un coste fijo de 20 dólares, que el coste de almacenaje y de posesión de stock es de un 26% anual sobre el inmovilizado, y que el número total de pares de botas adquiridos por el trámite extraordinario no puede superar el 2,5 por mil de la demanda anual.

- a) Establecer un sistema de gestión por punto de pedido para las botas B y E.
- b) Suponiendo que es conveniente agrupar los pedidos de botas, (aunque entonces los lotes no sean necesariamente de 500 pares) establecer una gestión por aprovisionamiento periódico con un período número entero de semanas que convenga a todas las tallas. En este caso, el coste fijo del pedido es de 150 dólares (en lugar de $9 \times 20 = 180$), y permanecen iguales el resto de los datos al caso anterior.

Determinar la cobertura para B y D.

¿Cuál es el número medio de pares de botas que se pedirán a la vez?

5.4.12

a) Cierta empresa utiliza para un artículo un sistema de gestión de stocks por punto de pedido. Los costes considerados son:

Coste de pasar un pedido	1.200 PTA
Coste de adquisición del artículo	300 PTA/unidad
Coste de posesión a la tasa de	20% anual
Precio de venta del artículo	500 PTA/unidad

El plazo de entrega es de una semana, durante la cual la demanda sigue, aproximadamente, una ley exponencial de media 20 unidades.

La demanda llegada en ruptura de stock se pierde.

Determinar el tamaño del lote y el valor del punto de pedido.

b) El suministrador nos ofrece un descuento por cada unidad comprada del 10% si el lote supera a las 250 unidades, y del 15% si supera las 400. ¿Cómo altera esto nuestros resultados?

c) Sin tener en cuenta el apartado b), supongamos que la demanda llegada en ruptura de stock se pierde en el 70% de los casos, mientras que el 30% restante es posible diferirla con un incremento de coste de 50 PTA/unidad. ¿Qué ocurre con los valores anteriores?

d) Prescindiendo de los apartados b) y c), ¿qué ocurre si aceptamos una pérdida de ventas, debida a ruptura de stock, limitada al 5% de la demanda global?

e) Prescindiendo de los apartados b), c) y d), supongamos que la empresa considera la posibilidad de pasar a un sistema de aprovisionamiento periódico de la siguiente forma:

Cada semana se realizará un inventario de las existencias del artículo, en función del cual se cursará un pedido, que será entregado a la siguiente semana, al tiempo que se cursa el nuevo pedido al encargado de distribución del suministrador. En estas circunstancias, el coste de pasar un pedido es de 1.500 PTA (teniendo en cuenta el coste de la información), aunque nuestro sistema informático disminuye su coste respecto al caso de aprovisionamiento por punto de pedido en 200 PTA/semana. ¿Es interesante el procedimiento?

f) Reestudiar el caso anterior pero considerando un período entre pedidos de 8 semanas.

g) ¿Sería más interesante otro período, en número entero de semanas?

5.4.13 QUASIMODO SPORTS (QS), ante el magno acontecimiento de 1992, ha decidido poner en orden su gestión de stocks, por lo menos la de los artículos que tienen una demanda más sostenida. QS forma parte de una cadena que le suministra los artículos que solicita con un plazo de entrega muy reducido (de 2 semanas en el caso de los artículos que luego se detallan). Los costes fijos de pasar un pedido, común para todos los artículos, es de 2.000 PTA/pedido y el coste de posesión lo considera del orden del 20% sobre el valor del stock medio. Si un cliente solicita un artículo que no está disponible, suele adquirirlo en otra tienda, por lo que la venta debe darse por fallida. Un análisis de los cinco artículos más populares ha dado el siguiente resultado:

ARTÍCULO	COSTE UNITARIO	PRECIO VENTA	LEY	MEDIA	DESV.TIPO
A	200 PTA/unidad	500 PTA/unidad	poisson	4	
B	250	500	normal	20	5
C	300	450	expon.	8	
D	400	700	normal	30	6
E	450	800	normal	10	2

QS le ha contratado como consultor y antes de diseñar una solución global a sus problemas le pide que conteste a las siguientes preguntas:

- El artículo *A* se lleva mediante una gestión por punto de pedido. Los lotes de reaprovisionamiento son de 50 unidades. ¿Cuál debe ser el punto de pedido si se desea que como máximo se pierdan (en promedio) diez ventas al año?
- El artículo *B* también se gestiona por punto de pedido, y se ha fijado éste en 50 unidades; ¿cuál debe ser el lote si se desea minimizar los costes de gestión? (el lote puede ser cualquier cantidad entera).
- El artículo *C* también se gestiona por punto de pedido, que se ha fijado en 20 unidades. ¿Cuál será el lote de reaprovisionamiento que minimiza los costes de gestión si el artículo se suministra en cajas de 10 unidades (y por tanto Q debe ser múltiplo de 10).
- El artículo *D* se gestiona por aprovisionamiento periódico; cada fin de semana se pasa un pedido por cierta cantidad; ¿cuál debe ser la cobertura para minimizar los costes de gestión?
- El artículo *E* se gestiona por punto de pedido; ¿cuáles serán los valores de s y Q que proporcionan la gestión más económica?

5.4.14 La empresa QUASIMODO SPORTS (QS), en vistas al magno acontecimiento de 1992, desea poner en orden su gestión, especialmente sus sistemas de aprovisionamiento. Para ello desea contratar a un ingeniero industrial de la última promoción, de especialidad organización industrial, como jefe del Departamento de Organización y Sistemas. Habiendo fracasado contactos anteriores considera que Vd. puede ser el(la) candidato(a) ideal, y antes de ofrecerle el empleo para que desarrolle un sistema global integrado de gestión, desea que Vd. conteste adecuadamente algunas preguntas.

QS forma parte de una cadena de detallistas que se surten del mismo distribuidor, con plazos de entrega muy reducidos y precios ventajosos. La mecánica de pasar un pedido y recibir la mercancía tiene un coste fijo de 2.000 PTA para la mayoría de los artículos (entre los que están los que se relacionan a continuación). El coste de posesión de los stocks lo evalúa QS en un 20% anual del valor medio almacenado. En caso de ruptura de stocks el cliente que no ha podido conseguir el artículo que desea se dirige a otra tienda, de la misma cadena o de la competencia, con lo que se puede dar la venta por perdida.

Los datos correspondientes a 5 artículos son los siguientes:

ARTÍCULO	PRECIO COMPRA PTA/un.	PRECIO VENTA PTA/un.	PLAZO ENTREGA semanas	DEMANDA SEMANAL		
				Ley	Media	Desv. tipo
M	400	900	2	Poisson	3	
N	300	500	1	uniforme	10	2
O	500	800	2	expon.	5	
P	350	600	2	discr.(ver TABLA)		
Q	250	1.000	3	normal	25	3

LEY DE POISSON

<i>x</i>	2	3	4	5
<i>h(x)</i>	0,1	0,3	0,5	0,1

- a) El artículo *M* se gestiona por punto de pedido con un valor de éste de 7 unidades; ¿cuál debe ser el lote de pedido para que la demanda media anual perdida por ruptura de stock no supere las 6 unidades?
- b) El artículo *N* también se gestiona por punto de pedido con un lote de pedido de 100 unidades; ¿cuál debe ser el punto de pedido para que la proporción de demanda perdida por ruptura de stock no supere, en promedio, el 5%?

- c) El artículo O también se gestiona por punto de pedido con un lote de pedido de 50 unidades; ¿cuál debe ser el punto de pedido para minimizar los costes de gestión?
- d) Los pedidos del artículo Q se pasan al distribuidor telefónicamente cada lunes a primera hora de la mañana, después de haber recontado las existencias y antes de abrir la tienda; ¿cuál será la cobertura que minimizará los costes de gestión?

5.4.15 QUASIMODO SPORTS analiza los artículos de la clase G , cuya demanda semanal (discreta) puede aproximarse adecuadamente por la siguiente ley de probabilidad:

Probabilidad de demanda $x = 0, 1, 2, \dots$: $h(x) = (1-a) \cdot a^x$ ($a < 1$)

Para un artículo de dicha clase los parámetros son, por ejemplo:

$a = 0,8$; $CL = 2.000$ *um*; $CA = 100$ *um*; $i = 20\%$ anual;

PV (precio venta) = 180 *um*; demanda insatisfecha perdida;

L (plazo de entrega) = 2 semanas

Para una gestión por punto de pedido, determinar los valores de Q y s en los siguientes casos:

- Minimización del coste anual medio de gestión.
- Obtención de una calidad media de servicio α mínima (por ejemplo $\alpha = 0,05$).
- Obtención de una calidad media de servicio β mínima (por ejemplo $\beta = 0,10$).

5.4.16 QUASIMODO SPORTS (QS) adquiere de un distribuidor, la **BOTTEGA VENEZIANA (BV)**, dos artículos X e Y al precio de 100 *um*/unidad el X y 150 *um*/unidad el Y , cuyas demandas anuales se estiman en 4.000 y 6.000 unidades respectivamente, y cuya venta es muy regular. Cuando los stocks existentes son 300 unidades de X y 500 de Y , el vendedor de BV comunica a QS :

"Para conmemorar la fundación de Venecia por los dálmatas desplazados por las tropas de Atila, si me hacéis un pedido de inmediato y pagáis contra entrega os haré un 20% de descuento"

QS utiliza los siguientes parámetros para la gestión de aprovisionamiento:

Coste de lanzamiento 2.000 *um*/pedido

Tasa de posesión 20% anual

¿Qué pedidos debería pasar QS?

Qs sólo dispone de 1.000.000 *um* para pagar los pedidos que pueda hacer a BV; ¿Cómo altera este hecho la cuantía de los pedidos?

5.4.17 QUASIMODO SPORTS (QS) sigue con la preocupación de llevar a término una buena gestión de stocks y ha consultado sus problemas con un experto (ingeniero industrial de la especialidad de Organización). La opinión del experto ha sido que lo primero que se necesita son datos fiables sobre la demanda y, aunque los sistemas administrativos de QS no son muy eficientes, se ha logrado tabular las ventas semanales de todos los artículos durante el pasado año. Para el artículo AA, de tendencia estable y desprovisto de estacionalidad, dichas ventas semanales se distribuyeron de la siguiente forma:

<u>cantidad vendida</u>	<u>número de semanas</u>	
0	1	
1	2	
2	3	(QS está abierto sólo
3	10	50 semanas al año, y
4	10	cierra, en agosto, por
5	9	vacaciones)
6	8	
7	7	

El artículo AA se adquiere a un mayorista a 800 PTA/unidad y se vende a 1.500 PTA/unidad. El coste de pasar un pedido es de 2.000 PTA/pedido y el plazo de entrega de 2 semanas. El coste de posesión se evalúa como un 20% anual del valor del stock medio. La demanda no satisfecha inmediatamente se pierde. Tomando los valores de la tabla anterior como representativos de la distribución de la demanda semanal, y adoptando una política de gestión de stocks por punto de pedido, se pide:

- ¿Cuál sería el punto de pedido si el artículo se adquiriese en lotes de 50 unidades y no se deseara perder más de 5 ventas (unidades) en promedio por año?
- ¿Cuál sería el lote de pedido si el punto de pedido se hubiese fijado en 8 unidades y no se deseara perder, por ruptura de stock, más del 5% de la demanda, en promedio?
- ¿Cuáles son el punto de pedido y el lote de pedido económicamente óptimos?
- Establecer los costes de gestión correspondientes a los resultados (a),(b) y (c). Estos costes *deben ser comparables* (y naturalmente el de (c), el menor).

e) ¿Qué opina de la forma utilizada para estimar la distribución de la demanda?

NOTA: Tanto el punto como el lote de pedido *deben ser enteros*.

5.4.18 QUASIMODO SPORTS (QS), ante los importantes acontecimientos del 92, sigue una política de mejora de su gestión de stocks. Un cierto artículo, que consume en forma regular para sus elaboraciones propias, lo adquiere a un precio de 500 PTA/unidad de un proveedor muy formal cuyo plazo de entrega es de 2 semanas. QS estima que los costes fijos ligados a cursar el pedido y la recepción del mismo son del orden de 1.100 PTA. La posesión de stocks representa una carga para QS del orden del 20% anual del valor medio del stock en pesetas. En caso de ruptura de stock, QS suele substituir el artículo por otro más caro, siempre disponible, cuyo precio es de 700 PTA/unidad.

Un análisis del consumo semanal del artículo durante el último año conduce a los siguientes valores.

Consumo (en unidades/semana)	5	6	7	8	9
Número de observaciones	8	11	15	11	7

- a) Si QS desea una regla de gestión por punto de pedido, ¿cuáles serán el punto de pedido y el lote que conducen al coste mínimo de gestión? (téngase presente que ambos deben ser enteros).
- b) ¿Qué hipótesis implícitas ha debido adoptar en el cálculo anterior?
- c) Con los valores anteriores, ¿cuáles serán el coste de gestión, el stock medio y el número medio de unidades más caras adquiridas anualmente?

Profundizando en el estudio de los datos de partida QS, se da cuenta de que existe una compensación entre semanas sucesivas del consumo; así, si en lugar de tomar el consumo semanal considera el quincenal, los datos son:

Consumo (en unidades/quincena)	12	13	14	15	16
Número de observaciones	3	7	8	5	3

- d) ¿Son coherentes estos datos con los anteriores? ¿Cómo influyen en los valores pedidos en c)? (si los valores cambian, indicar los nuevos)

e) ¿Siguen siendo óptimos el punto de pedido y el lote hallados en a)? Si no lo son, dar los nuevos.

5.4.19 La empresa QUASIMODO SPORTS sigue poniendo orden en su gestión de stocks y aprovisionamiento, y se preocupa por un grupo de artículos con plazo de entrega de dos semanas, cuyo coste fijo de aprovisionamiento es de 2.000 PTA/pedido. La demanda llegada en ruptura de stock se pierde, y el coste de mantener stock se evalúa en el 19,5% anual del valor del stock medio. La configuración de la demanda semanal de algunos artículos, así como su precio de compra y de venta, son los siguientes:

ARTÍCULO	PRECIO COMPRA (PTA/un.)	PRECIO VENTA (PTA/un.)	DEMANDA SEMANAL		
			Ley	Media	Desv. tipo
<i>F</i>	300	600	exponencial	10	
<i>G</i>	350	550	uniforme (cont.)	10	1,7321
<i>H</i>	400	700	normal	10	2

La gestión se efectúa por punto de pedido y se desea la minimización de los costes de gestión, satisfaciendo además algunas condiciones específicas para cada artículo. Determinar los parámetros de gestión en los siguientes casos:

- El artículo *F* se aprovisiona en lotes múltiplos de 50 unidades (contenido de una caja). ¿Cuáles deben ser el lote de aprovisionamiento y el punto de pedido si no se desea perder (en promedio) la venta de más de 5 unidades al año?
- El punto de pedido de *G* se ha fijado, por razones independientes de los costes, en 23 unidades; ¿cuál debe ser el lote de aprovisionamiento si se desea no soportar (en promedio) más de una ruptura al año?
- El artículo *H* no tiene fijado el lote ni el punto de pedido, pero se desea que la demanda perdida por ruptura no supere (en promedio) el 1 por mil de la demanda total, ¿qué valores deberán tomar Q y s ?

5.4.20 El consumo semanal de un artículo durante las próximas 20 semanas será:

37 - 32 - 18 - 10 - 43 - 27 - 15 - 30 - 21 - 17 - 33 - 29 - 20 - 35 - 23 - 7 - 40 - 32 - 18 - 13

Suponiendo que el stock inicial es 0, el coste de lanzamiento 400 PTA/lote, el coste

variable 500 PTA/unidad y la tasa de posesión 0,004 PTA/PTA-semana, efectuar una agrupación en lotes utilizando una heurística.

Utilizar una heurística diferente y comparar los resultados.

5.4.21 Un artículo tiene un consumo regular de 25 unidades semanales. Se adquiere a un proveedor especializado a 500 PTA/unidad, siendo el coste fijo de pasar el pedido y recepción del mismo de 2.000 PTA, y el plazo de entrega de una semana. La tasa de posesión de stock es del 20% anual sobre el inmovilizado medio. En un momento en que tenemos en stock 75 unidades, el vendedor dispone de una gran cantidad del artículo (unas 1.000 unidades) que nos ofrece (todo o parte) al precio de 400 PTA/unidad. La entrega es inmediata. Considerando que los gastos fijos de adquisición de un lote a dicho precio rebajado serán también de 2.000 PTA, ¿qué cantidad deberemos adquirir?

5.4.22 La demanda semanal de un artículo se distribuye aceptablemente según una ley normal de media 25 unidades y desviación tipo 8 unidades. El artículo se adquiere a un proveedor especializado al precio de 500 PTA/unidad, coste fijo de pasar pedido y recepción del lote de 2.000 PTA y plazo de entrega de 4 semanas. La tasa de posesión es del 20% anual sobre el inmovilizado medio. La demanda llegada en ruptura de stock se difiere, y se efectúa la entrega cuando vuelve a disponerse del artículo. Se adopta una gestión por punto de pedido.

- a) ¿Cuál es el punto de pedido si se desea que la proporción de ciclos con ruptura de stock no supere el 2,5% de los mismos, en promedio?
- b) Se adquiere el artículo en lotes de 200 unidades; ¿cuál será el punto de pedido si se desea diferir como máximo la entrega de 26 unidades al año, en promedio?
- c) Suponiendo que el lote de adquisición es de 200 unidades y el punto de pedido 120, dibujar un gráfico que represente el nivel de stock a lo largo de 10 semanas.

Stock inicial: 150 unidades

Demanda: 37 - 32 - 18 - 10 - 43 - 27 - 15 - 30 - 21 - 17

- d) Con los valores anteriores de s y Q , ¿cuánto valdrá el número medio de unidades diferidas al año?
- e) Suponiendo un coste de ruptura de 150 PTA/unidad diferida, ¿cuáles serán los valores de s y Q óptimos?

5.4.23 Estamos estudiando la gestión del stock de 4 productos, cuyas características son las siguientes:

ARTÍCULO	DEM. ANUAL <i>un/año</i>	COST. FIJ. ADQ. PTA/pedido	COST.VAR. PTA/unidad	TASA POS. %	OCUP. <i>un/m²</i>
A	100.000	10.000	160.000	20	8
B	300.000	10.000	80.000	20	15
C	800.000	10.000	25.000	20	20
D	200.000	10.000	50.000	20	10

Puesto que los materiales se disponen en el almacén en muebles apilados, la ocupación indica el número de unidades de cada artículo que pueden almacenarse en un metro cuadrado. La política de almacenaje es tal que se destina una zona para cada artículo, que se dimensiona de acuerdo con el máximo del mismo que puede encontrarse en el almacén. Disponemos únicamente de 150 m^2 de almacén.

- Determinar los lotes de aprovisionamiento y la frecuencia del mismo para cada artículo.
- Una empresa vecina está dispuesta a alquilarnos tantos metros cuadrados para almacenamiento como deseemos (hasta un máximo de 100) al precio de 25.000 PTA/año. ¿Cómo altera este hecho la anterior respuesta?

5.4.24 Una misma máquina debe elaborar cuatro piezas con las siguientes características:

ARTÍCULO	CONSUMO <i>un./h</i>	PRODUC. <i>un./h</i>	COST.LANZ. Pesetas	COST.UNIT. PTA/unidad	TASA POS. %	T.PREP. horas
A	25	125	3.600	96	20	12
B	75	375	2.400	32	20	8
C	200	1.000	7.200	12	20	24
D	50	250	4.800	48	20	16

Determinar un ciclo único de producción.

Analizar la posibilidad de fabricar, dentro del ciclo, varios lotes de una pieza.

Determinar el nuevo ciclo. ¿Es más económica la gestión?

Tanto para el consumo como para la producción se considerarán años de 250 días laborables de 2 turnos de 8 horas cada uno.

5.4.25 Una empresa fabrica tres productos acabados (esencialmente el mismo aparato en tres calidades: normal, extra y lujo), cuya estructura es la siguiente:

Clave A	Procedencia: MONTAJE Coste estándar: 2.380 PTA/unidad Componentes M 2 unidades N 1 unidad X 4 unidades
Clave B	Procedencia: MONTAJE Coste estándar: 2.960 PTA/unidad Componentes M 1 unidad N 1 unidad P 1 unidad X 4 unidades
Clave C	Procedencia: MONTAJE Coste estándar: 3.560 PTA/unidad Componentes M 1 unidad P 2 unidades X 8 unidades
Clave M	Procedencia: FABRICACIÓN Coste estándar: 440 PTA/unidad Componentes X 4 unidades Y 1 unidad Z 3 unidades
Clave N	Procedencia: FABRICACIÓN Coste estándar: 680 PTA/unidad Componentes X 8 unidades Y 2 unidades Z 4 unidades
Clave P	Procedencia: FABRICACIÓN Coste estándar: 1.020 PTA/unidad Componentes X 12 unidades Y 3 unidades Z 5 unidades

X, Y y Z son artículos de procedencia exterior (se compran) y su coste estándar (precio) es, respectivamente, 5, 20 y 100 PTA/unidad.

Para el próximo año fiscal (de septiembre 1985 a agosto 1986) prevemos una producción casi homogénea en el tiempo de A, B y C, montándose en promedio 40 unidades semanales de A, 30 de B y 10 de C. (El número de semanas laborables del año es de 46 de 5 días, a 2 turnos = 16 horas/día). Los subconjuntos M, N y P se realizan por lotes en la misma máquina con las siguientes características:

	M	N	P
Ritmo producción.....	8 un./hora	4 un./hora	2 un./hora
Tiempo preparación	2 horas	3 horas	4 horas

Sabiendo que la hora de preparación se evalúa a un coste de 800 PTA/hora y que se utiliza una tasa de posesión del 20% sobre el coste estándar (tasa anual), se pide:

¿Cuál será el tamaño de los lotes de M, N y P, y el ciclo de producción correspondiente?

¿Cómo repercutirá esta lotificación en el consumo de X, Y y Z?

NOTA: Se tomará un ciclo número entero de semanas y se empezará la preparación de la máquina para cada lote a partir del inicio de una jornada laborable. Si se dispone de mucho tiempo en que la máquina esté ociosa, se distribuirá lo más regularmente posible entre los intervalos de un lote al siguiente.

5.4.26 La empresa TALLERES ROSCA ha destinado una sección, formada por cuatro máquinas, A, B, C y D, a la elaboración de cuatro piezas, 1, 2, 3 y 4, cuyas operaciones son similares. En la tabla adjunta se encuentran, para cada pieza, los tiempos de preparación y unitarios de sus cuatro operaciones (que deben realizarse en el orden marcado), así como su consumo (determinista) y su coste estándar.

pieza	oper. 1 máq. A prep.un.		oper. 2 máq. B prep.un.		oper. 3 máq. C prep.un.		oper. 4 máq. D prep.un.		consumo día	coste est.
1	15	4	15	3	15	5	10	4	24	80
2	15	5	15	4	10	5	15	4	32	60
3	10	3	5	4	10	2	5	3	48	50
4	5	4	10	3	10	4	15	5	48	40

Tiempos en minutos; consumo en unidades; coste estándar en PTA.

TALLERES ROSCA desea definir unos ciclos de fabricación, dentro de cada uno de los cuales se fabrique un solo lote de cada una de las piezas, y ha solicitado su ayuda para determinar el tamaño de los lotes, la duración del ciclo, y el orden de elaboración de las piezas dentro de cada ciclo. Le comunica los siguientes datos: trabaja unos 200 días al año, con dos turnos de 8 horas por día; el coste de preparación lo determina mediante el valor unitario de 40 PTA/minuto; el coste de posesión mediante la tasa del 20% anual. Sus operarios están preparados para continuar la elaboración que se encuentra en la máquina al cambiar el turno o al iniciar el día. Una máquina preparada puede realizar indefinidamente la operación correspondiente. Una vez definido el ciclo le interesa efectuar todas las operaciones del mismo con el mínimo de tiempos muertos, a fin de dejar libre cada una de las máquinas de la sección lo antes posible.

Determine:

- a) El tamaño del lote y la duración del ciclo. Cada uno de los lotes entra globalmente en almacén una vez han sido completamente terminadas todas sus piezas. Puede redondearse la duración del ciclo a un número entero de días.
- b) El tiempo muerto teórico existente en el ciclo.
- c) Un orden de elaboración de cada pieza en cada máquina.
- e) El tiempo muerto disponible para cada máquina, desde el final de elaboración de las cuatro piezas hasta el inicio de la primera operación del ciclo siguiente.

5.4.27 Li-Po es el gerente de una fábrica de Singapur que se dedica a fabricar y a explotar al mundo entero pequeñas cajitas con las piezas del conocido juego *tangram*. La fabricación es como sigue:

En una máquina embudidora de plástico se fabrican la cajita, la tapa de la misma y unas láminas de plástico $100 \times 100 \text{ cm}^2$. Las láminas se cortan en 100 cuadrados, la mitad de los cuales se cortan a continuación por la mitad, con lo que se obtienen dos piezas del *tangram* y el resto se cortan de forma que den las otras 5 piezas. A continuación se lijan ligeramente los bordes de las mismas, se colocan en las cajitas (en las que se incluye un papel con las instrucciones en cuatro idiomas) y se cierran con la tapa que se fija con una banda de papel adhesivo para evitar que se abran en el transporte.

La máquina embudidora tiene unos tiempos de preparación y de elaboración diferentes para cada producto:

ARTÍCULO	TIEMPO de PREPARACIÓN minutos	PRODUCCIÓN unidades/minuto
cajita	80	4
tapa	50	10
lámina	60	8

El corte de cada elemento, función esencialmente del material, es de 3 piastras la cajita, 1,2 piastras la tapa y 100 piastras la lámina.

Asimismo, la máquina de cortar tiene tiempos diversos:

OPERACIÓN	TIEMPO de PREPARACIÓN	PRODUCCIÓN
corte lámina	30 minutos	4 láminas/minuto
corte a 2 piezas	45 minutos	10 cuadrados/minuto
corte a 5 piezas	45 minutos	10 cuadrados/minuto

Debido a que el coste del dinero está aumentando y que la demanda es alta (250.000 juegos al año), Li-Po desea establecer unos lotes de producción, por lo que solicita ayuda al famoso coronel Blotto, a quien conoció durante una de las muchas guerras del Pacífico y con quien está en contacto debido a su interés común por las artes marciales orientales. A las preguntas de Blotto, Li-Po contesta:

- El coste horario de los obreros a cargo de las máquinas (uno para la embudidora y otro para la cortadora) es de 200 piastras.
- La empresa trabaja a un turno de 8 horas durante 200 días al año.
- El coste del inmovilizado en stock lo contabiliza al 20% anual.

Si usted fuese Blotto, ¿qué aconsejaría?

Téngase presente que los lotes deben constar de un número entero de artículos y que, preferentemente, los lotes para la embudidora y la cortadora deben ser coherentes.

5.4.28 El director general de SCREW-BALL SHOT COMPANY, después de asistir a un Seminario de Organización de la Producción, ha decidido mejorar sus procedimientos de realización del plan maestro. S-B fabrica bolas y dispone de una perdigonera, máquina

capaz de producir (una vez preparada) cualquier tipo de bola al ritmo de 5 por hora. Esta máquina trabaja a tres turnos, cinco días por semana, es decir, en un mes medio, 480 horas. La máquina es atendida por un obrero que cobra, tanto si la máquina funciona como si está parada, a razón de 5 um/hora. La materia prima de cada bola es siempre la misma y cuesta 4 um/bola; su aprovisionamiento nunca causa problemas. Se considera un coste de posesión de stock de 0,10 um/bola-mes de permanencia en almacén. Un mes dado pueden servirse las bolas producidas en el mismo (sin considerar ni retrasos ni coste de stock).

S-B fabrica tres tipos de producto:

BOLAS A: Gran número de distribuidores las adquieren a 8 um/unidad para revenderlas, por lo que S-B las produce para stock. La demanda de dichas bolas es de 700 unidades/mes con una ligera estacionalidad. Si la demanda no puede ser atendida por haberse producido ruptura de stock, se pierde, ya que los distribuidores se dirigen a otros fabricantes. Preparar la máquina para las bolas A consume 40 horas.

Coefficiente de estacionalidad:

0,714 - 0,714 - 0,857 - 0,990 - 1,14 - 1,28 - 1,28 - 1,280 - 1,140 - 0,990 - 0,857 - 0,714

Variación aleatoria: 15% en más o en menos.

BOLAS B: Son objeto de un contrato a largo plazo con un fabricante de equipos industriales que programa las entregas por cuatrimestre. La demanda, bastante estable, es de 600 unidades/mes y el precio practicado es de 7 um/unidad. Preparar la máquina consume 30 horas. El contrato prevé que S-B pague una multa de 1 um/bola por cada mes de retraso (los débitos se acumulan de un mes al siguiente).

BOLAS C: Son bolas que se fabrican bajo pedido en firme del cliente. S-B puede rechazar un pedido, pero si lo acepta se compromete a cumplirlo en firme, por lo que paga multa de 2 um/bola-mes de retraso. El precio de venta de las bolas C es de 10 um/unidad, y preparar la máquina para cada clase de bola C consume 40 horas. Hay tres clases de bolas C: SKI, NER y SNOW. Un análisis de la situación indica que cada mes M la probabilidad de pedido y plazo de las bolas C es:

SKI

0,5 No ped.; 0,25 ped. 1000 para M+ 2; 0,25 ped. 1000 para M+ 3

NER

0,4 No ped.; 0,40 ped. 200 para M+ 3; 0,20 ped. 200 para M+ 4

SNOW

0,5 No ped.; 0,25 ped.1000 para M+ 2; 0,25 ped.1000 para M+ 3

El director general desea disponer de unos criterios generales referidos a:

- a) Cuál debe ser el tamaño del lote de cada clase de bola a producir de una vez, aprovechando que la máquina está preparada.
- b) Cuál debe ser el stock de piezas que debe considerarse normal y cuál el nivel a partir del cual se considere interesante fabricar un nuevo lote.
- c) Cuándo debe rechazar un pedido de las bolas C.

5.4.29 Construir dos ábacos para tratar problemas de stocks por el método heurístico. Uno de estos ábacos (en papel simple o doble-logarítmico) establecerá la relación $\Phi(t)/H(t)$ respecto a $H(t)$ para diversas leyes entre las que podemos señalar:

- exponencial
- gamma k (para algunos valores de k , suponiendo que de ser necesario siempre se podrá interpolar)
- normal
- triangular simétrica
- homogénea
-

Dada la forma de las curvas es posible que para mejor utilización haya que cortar el ábaco en tres y jugar con las escalas (logarítmica o no, logarítmica en $1 - H(t)$, etc.)

El otro ábaco para las mismas leyes debería relacionar $H(t)$ con t , a fin de facilitar el cálculo $s = m \cdot L + t \cdot \sigma \cdot L$ a partir de H . Valen las consideraciones indicadas.

Posibilidad de dar como suplemento unas tablas de los valores, así como unos programas para ordenador.

5.4.30 *Stocks deterministas con demanda no-homogénea*

Preparar un programa para PC capaz de aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin, así como un par de heurísticas (especialmente la de Silver-Meal). A continuación, y a partir de la generación de un cierto número de problemas mediante números aleatorios, se analizará el comportamiento de las heurísticas.

NOTA: El programa básico debe ser capaz de funcionar independientemente a partir de unos datos entrados en una forma estándar.

5.4.31 *DETRSTCK*

Preparar un paquete para la resolución de problemas de stocks, con demanda determinista, y múltiples artículos. Puede servir de inspiración QBS. El paquete debe ser convivial, lo que implica que las entradas y las salidas deben estar bastante cuidadas, y debe estar protegido de los errores. El usuario debe poder elegir entre las siguientes opciones (naturalmente dentro del modelo adecuado):

- *Número de artículos:* el usuario podrá definir desde uno hasta no menos de 10 artículos.
- *Unidades:* las cantidades deben poder ser discretas o continuas y, en este último caso, redondeadas o no.
- *Unidad de tiempo:* cuando se precise, podrá ser definida por el usuario, al que se le solicitará, eventualmente, su relación con el año (si para el coste de posesión se utiliza una tasa anual).
- *Precio del artículo:* pueden existir rebajas por cantidad de ambos tipos. En la oportunidad especial para adquirir existirán el precio regular y el excepcional.
- *Coste de posesión:* el usuario podrá elegir entre dar un valor fijo por unidad-año, un porcentaje del valor o cualquier cosa mixta (el porcentaje del valor común para todos los artículos).
- *Coste de lanzamiento:* puede ser igual o diferente para cada artículo. Se admitirán funciones lineales del número de artículos.
- *Stock inicial:* será necesario en el modelo oportunidad especial para adquirir.
- *Rupturas de stock:* el usuario podrá aceptar rupturas, siempre que la demanda se difiera y exista un coste por unidad-unidad de tiempo (coste suplementario por unidad a introducir eventualmente)
- *Plazo de entrega:* se considerará constante. Debe medirse en la unidad temporal elegida. Lo mismo ocurre con los tiempos de preparación de máquinas.
- *Demanda:* se iniciará el valor correspondiente a la unidad de tiempo elegida.
- *Restricciones:* además de las inducidas por la producción en la misma máquina y en el caso de coste de lanzamiento función lineal, podrán introducirse, en su caso, restricciones del tipo:

$$\sum a_j \cdot Q_j \leq d$$

(una por lo menos)

- *Tasa de producción*: se dará la tasa correspondiente a la unidad de tiempo elegida.
- *Tipo de modelos*: EOQ generalizado, EOQ simple con rebajas, EOQ simple con restricciones, producción de varios artículos en la misma máquina, coste de lanzamiento función lineal, oportunidad especial para adquirir.

Aspecto del paquete en explotación:

- Primera pantalla con nombre del programa, escuela, universidad, departamento, nombre de los autores, fecha.
- Segunda pantalla, breve introducción explicativa.
- Tercera pantalla, selección de la opción por parte del usuario (modelo y número de artículos), preferentemente moviendo el cursor entre ventanas (como en el menú de compilación del QB)
- Cuarta y eventualmente más pantallas, introducción de los datos necesarios (siempre con confirmación al final de pantalla y posibilidad de modificar antes de la misma). Se comprobará que los datos dados respecto a la demanda media anual, la demanda media durante el plazo de entrega y la duración media del plazo de entrega sean coherentes.
- Pantalla con " << TRABAJANDO >> " en forma de parpadeo.
- Pantalla de resultados finales: mostrará para cada artículo el lote y el coste, así como otros parámetros interesantes adaptados al modelo utilizado. Si se precisa más de una pantalla podrá pasarse de una a otra fácilmente tantas veces como se quiera.
- Terminada la presentación de resultados podrá salirse del programa, volver a ver los datos y modificarlos, o bien iniciar otro problema.

5.4.32 APERSTCK

Preparar un paquete para la resolución de problemas de stocks, demanda aleatoria y gestión por aprovisionamiento periódico. El paquete debe ser convivial, lo que implica que las entradas y las salidas deben estar bastante cuidadas, y debe estar protegido de los errores. El usuario debe poder elegir entre las siguientes opciones:

- *Unidades*: las cantidades deben poder ser discretas o continuas y, en este último caso, redondeadas o no.

- *Unidad de tiempo*: podrá ser definida por el usuario, al que se le solicitará, eventualmente, su relación con el año (si para el coste de posesión se utiliza una tasa anual).
- *Ley de la demanda durante la unidad de tiempo en el caso discreto*: el usuario podrá elegir entre entrar una tabla y la ley de Poisson.
- *Ley de la demanda durante la unidad de tiempo en el caso continuo*: el usuario podrá elegir entre la ley normal y una ley empírica (entrando la función de distribución por puntos, procediendo luego el paquete a interpolar).
- *Rupturas de stock*: el usuario podrá elegir entre demanda diferida, demanda perdida y cualquier combinación de ambas.
- *Determinación del límite de ruptura*: el usuario podrá elegir entre dar un coste de ruptura, dar una calidad mínima de servicio o cualquier combinación de ambas cosas.
- *Coste de posesión*: el usuario podrá elegir entre dar un valor fijo por unidad-año, un porcentaje del valor del stock medio o una combinación de ambos.
- *Período*: deberá ser (para las leyes empíricas) un número entero de las unidades de tiempo elegidas (la ley normal y la de Poisson pueden permitir más juego; sólo debe ser igual o mayor que dicha unidad). Podrá fijarse un valor para la realización de los cálculos, o bien dar un intervalo y un paso para el cálculo de los diversos casos y selección del mejor.
- *Plazo de entrega*: se considerará constante. Debe cumplir las mismas reglas que el período.

Aspecto del paquete en explotación:

- Primera pantalla con nombre del programa, escuela, universidad, departamento, nombre de los autores, fecha.
- Segunda pantalla, breve introducción explicativa.
- Tercera pantalla, selección de la opción por parte del usuario, preferentemente moviendo el cursor entre ventanas (como en el menú de compilación del QB)
- Cuarta y eventualmente más pantallas, introducción de los datos necesarios (siempre con confirmación al final de pantalla y posibilidad de modificar antes de la misma); se comprobará que los datos dados respecto a la demanda media anual, la demanda media

durante el plazo de entrega y la duración media del plazo de entrega sean coherentes.

- Pantalla con " << TRABAJANDO >> " en forma de parpadeo.
- Pantalla de resultados intermedios (si es oportuna): tabla que presente para cada uno de los períodos analizados: cobertura, stock medio, nº medio de diferidos o perdidos por ciclo, coste,...
- Pantalla de resultados finales: mostrará la solución de mínimo coste explorada con período, cobertura, stock medio, stock de seguridad, nº medio de diferidos o perdidos por ciclo, ídem por año, nº medio de pedidos al año, calidad de servicio según diversos índices, coste por conceptos y coste total. Si se necesita más de una pantalla para presentar resultados podrá pasarse de una a otra tantas veces como se quiera.
- Terminada la presentación de resultados podrá salirse del programa, volver a ver los datos y modificarlos, o bien iniciar otro problema.

5.4.33 PUNTSTC

Preparar un paquete para la resolución de problemas de stocks, demanda aleatoria y gestión por punto de pedido. El paquete debe ser convivial, lo que implica que las entradas y las salidas deben estar bastante cuidadas, y debe estar protegido de los errores. El usuario debe poder elegir entre las siguientes opciones:

- *Unidades*: las cantidades deben poder ser discretas o continuas, y en este último caso redondeadas o no.
- *Ley de la demanda durante en el caso discreto*: el usuario podrá elegir entre entrar una tabla, la ley de Poisson y la ley geométrica.
- *Ley de la demanda en el caso continuo*: el usuario podrá elegir entre la ley normal, la ley exponencial, la ley de Laplace, alguna ley gamma y una ley empírica (entrando la función de distribución por puntos, procediendo luego el paquete a interpolar).
- *Rupturas de stock*: el usuario podrá elegir entre demanda diferida, demanda perdida y cualquier combinación de ambos casos.
- *Determinación del límite de ruptura*: el usuario podrá elegir entre dar un coste de ruptura, dar una calidad mínima de servicio o cualquier combinación de ambas cosas.
- *Coste de posesión*: el usuario podrá elegir entre dar un valor fijo por unidad-año, un

porcentaje del valor del stock medio o una combinación de ambos.

Aspecto del paquete en explotación:

- Primera pantalla con nombre del programa, escuela, universidad, departamento, nombre de los autores, fecha.
- Segunda pantalla, breve introducción explicativa.
- Tercera pantalla, selección de la opción por parte del usuario, preferentemente moviendo el cursor entre ventanas (como en el menú de compilación del QB)
- Cuarta y eventualmente más pantallas, introducción de los datos necesarios (siempre con confirmación al final de pantalla y posibilidad de modificar antes de la misma); se comprobará que los datos dados respecto a la demanda media anual, la demanda media durante el plazo de entrega y la duración media del plazo de entrega sean coherentes.
- Pantalla con " << TRABAJANDO >> " en forma de parpadeo.
- Pantalla de resultados, como mínimo: lote, punto de pedido, stock medio, stock de seguridad, nº medio de diferidos o perdidos por ciclo, ídem por año, nº medio de pedidos al año, calidad de servicio según diversos índices, coste por conceptos y coste total. Si se necesita más de una pantalla para presentar resultados podrá pasarse de una a otra tantas veces se quiera.
- Terminada la presentación de resultados podrá salirse del programa, volver a ver los datos y modificarlos, o bien iniciar otro problema.

5.4.34 Problema ELSP (Economic Lot Scheduling Problem)

Realización de varias piezas en una misma máquina (ver el apartado 5.1.2.4).

Nomenclatura:

- j artículo genérico, $j = 1, 2, \dots, n$
- D_j demanda homogénea de j (unidades/año)
- P_j tasa de producción del artículo j en la máquina (unidades/día)
- CA_j coste unitario del artículo j (PTA/unidad)
- CL_j coste de lanzamiento del artículo j (PTA/lote)

i tasa de posesión (PTA/PTA-año)

TP_j tiempo de preparación para el artículo j (días/lote)

ND número de días laborables por año

T ciclo de producción (días laborables)

k_j número de lotes del artículo j a fabricar en un ciclo

TM tiempo muerto por ciclo

$$(1 - r) \cdot T = \sum_j k_j TP_j + TM$$

llamando:

$$r = \sum_j \frac{D_j}{ND \cdot P_j} \quad (r < 1)$$

Cálculo de k_j

Si T fuese conocido y todos los lotes de j fuesen iguales (y no impusiéramos que k_j fuese entero):

$$[MIN]_{k_j} \left[\frac{ND}{T} \cdot \sum k_j \cdot CL_j + \frac{T}{ND} \cdot \sum \frac{\frac{1}{2} D_j \cdot i \cdot CA_j \cdot \left(1 - \frac{D_j \cdot P_j}{ND} \right)}{k_j} \right]$$

sometido a:

$$\sum k_j \cdot TP_j \leq (1 - r) \cdot T$$

Solución (cualquiera que sea T):

$$k_j = \frac{T}{ND} \cdot \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \cdot D_j \cdot i \cdot CA_j \cdot \left(1 - \frac{D_j \cdot P_j}{ND} \right)}{CL_j + \lambda \cdot \frac{TP_j}{ND}}}$$

con:

$$\lambda \cdot \left[\sum_{k_j \cdot TP_j \geq (1-r) \cdot T} k_j \cdot TP_j - \sum_{k_j \cdot TP_j \leq (1-r) \cdot T} k_j \cdot TP_j \right] = 0$$

Si $\lambda = 0$ hay tiempo muerto $TM > 0$ (salvo degeneración)

Si $\lambda > 0$ no hay tiempo muerto $TM = 0$

llamando:

$$TPT = \sum k_j TP_j$$

$$TM = (1 - r) \cdot T - TPT$$

Determinación de T:

Elegimos el menor T que conduce a valores k_j prácticamente enteros y los redondeamos. Por ejemplo, al menor valor de k_j le asociamos un entero (preferentemente la unidad) y de ahí deducimos T y los demás k_j .

A partir de este punto tenemos T y los valores enteros k_j .

Secuenciación de lotes:

Se construye una secuencia con los números $1, 2, \dots, j, \dots, n$ donde j entra k_j veces. Un posible algoritmo es el siguiente (calculamos v_j):

$$v_j = TP_j + \frac{T \cdot D_j}{k_j \cdot P_j}$$

y ordenamos los artículos alfabéticamente en (k_j, v_j) decreciente. Supongamos que el orden resultante es el $1, 2, \dots, n$, elegimos k_1 canales (o máquinas ficticias), inicialmente con cargas w_1, w_2, \dots, w_{k_1} nulas. En un momento dado habremos colocado los artículos $1, 2, \dots, j-1$ y vamos a situar el j , cuyos valores son (k_j, v_j) y sea $x = \text{CINT}(k_1/k_j)$. Buscamos S_k :

$$S_k = w_k + w_{k+x} + w_{k+2 \cdot x} + \dots \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, x$$

y sea k_* el índice de la S_k menor. Colocaremos en cada canal:

$$k_* \quad k_* + x \quad k_* + 2 \cdot x \quad \dots$$

un lote j , y añadiremos a $w_{k_*}, w_{k_*+x}, \dots$ la carga v_j .

Lotes seguidos de la misma pieza:

Si nos quedan dos lotes seguidos de la misma pieza (teniendo en cuenta que la secuencia es circular) y no hay tiempo muerto ($\lambda > 0$), pueden reducirse a uno solo. En el caso contrario ($\lambda = 0$) habrá que analizar posteriormente si conviene hacerlo o no.

Evaluación de los lotes a fabricar dada la secuencia:

Tenemos la secuencia $(f_1, f_2, \dots, f_s, \dots, f_m)$ donde:

$$m = \sum_{j=1}^n k_j$$

$$f_s \in \{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$$

nomenclatura adicional:

t_s tiempo de fabricación para el lote s de la secuencia

TP_s tiempo de preparación para el lote s de la secuencia

u_s tiempo muerto situado *después* de la fabricación del lote s de la secuencia

J_j posiciones de la secuencia en las que se fabrica el artículo j

L_s posiciones de la secuencia desde s (en que se fabrica f_s) hasta la posición (no incluido) en que se fabrica de nuevo (teniendo en cuenta que la secuencia es circular). Como vector fila tiene un 1 en las posiciones indicadas y 0 en las restantes. Por ejemplo, dada la secuencia (1, 2, 1, 3, 1, 2):

$$L_1 = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] ; L_2 = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$$

$$L_3 = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0] ; L_4 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] ; \text{etc.}$$

El problema a resolver es:

$$[MIN] \left[\sum_{s=1}^m CL_s + \sum_{s=1}^m \frac{1}{2} \cdot t^2 \cdot j \cdot CA_s \cdot \left(P_s - \frac{D_s}{ND} \right) \cdot \frac{P_s}{D_s} \right]$$

sometido a:

$$\sum_{s \in J_j} P_j \cdot t_s = D_j \cdot \frac{T}{ND} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{s \in L_z} t_s + TP_s + u_s = t_z \cdot P_z \cdot \frac{ND}{D_z} \quad z = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{s \in 1}^m (t_s + TP_s + u_s) = T$$

nomenclatura adicional:

$$D \text{ matriz diagonal } D_{ss} = \frac{1}{2} \cdot i \cdot CA_s \cdot \left(P_s - \frac{D_s}{ND} \right) \cdot \frac{P_s}{D_s}$$

$$P \text{ matriz diagonal } P_{ss} = P_s \cdot \frac{ND}{D_s}$$

e vector de unos [1 1 1 ... 1],

L matriz cuyas filas son las L_s

CL, t, TP, u son vectores columna

Tenemos:

$$[MIN] [e' \cdot CL + t' \cdot D \cdot t]$$

sometido a:

$$P \cdot t = L \cdot (t + TP + u)$$

$$e' \cdot (t + TP + u) = T$$

Cálculo de t conocido u :

De:

$$P \cdot t = L \cdot (t + TP + u)$$

podemos determinar t conocido u . La inversa de P es fácil de hallar, puesto que P es diagonal, de donde:

$$t = P^{-1} \cdot L \cdot (t + TP + u)$$

Iniciando con un valor cualquiera t , iterativamente, en pocos pasos obtendremos convergencia.

Optimización de los tiempos muertos u (a utilizar sólo si $\lambda > 0$):

nomenclatura adicional:

$$M = (I - P \cdot L^{-1}) \cdot P^{-1} \cdot L^{-1}$$

$$A = M' \cdot D' \cdot M$$

Determinación de M :

$$M = P^{-1} \cdot L + (P^{-1} \cdot L)^2 + (P^{-1} \cdot L)^3 + \dots$$

iterativamente:

$$M^{(q+1)} = (P^{-1} \cdot L) \cdot (I + M^{(q)}) \quad M^{(1)} = P \cdot L^{-1}$$

Puesto que $e' \cdot CL$ es fijo, debemos minimizar:

$$[MIN] X' \cdot M' \cdot D \cdot M \cdot X = X' \cdot A \cdot X$$

sometido a:

$$e' \cdot X = (1 - r) \cdot T$$

$$X \geq TP$$

donde $X = TP + u$

Hallado X , puesto que TP es conocido, tenemos u , y de ahí t .

Determinación de X :

Las condiciones de KUHN-TUCKER son:

$$2 \cdot A \cdot X = \mu \cdot e + V$$

$$e' \cdot X = (1 - r) \cdot T$$

$$V' \cdot (X - TP) = 0$$

$$X \geq TP ; V \geq 0$$

y por tanto:

$$2 \cdot (X - TP)' \cdot A \cdot X = \mu \cdot e' \cdot (X - TP) + V' \cdot (X - TP)$$

$$\mu = \frac{2 \cdot X' \cdot A \cdot (X - TP)}{e' \cdot (X - TP)}$$

algoritmo:

1) Inicialización. Hacer:

$$x_k^{(0)} = TP_k + \frac{TM}{m}$$

calcular $\mu^{(0)}$ con la fórmula.

2) Utilizar un paso de GAUSS-SEIDEL modificado

$$y_k^{(q+1)} = \frac{\frac{\mu^{(q)}}{2} - \sum_{h=1}^{k-1} a_{kh} \cdot x_h^{(q+1)} - \sum_{h=k+1}^m a_{kh} \cdot r \cdot x_h^{(q)}}{a}$$

$$x_k^{(q+1)} = \text{MAX} \left\{ y_k^{(q+1)}, TPk_k \right\}$$

3) Reconponer la suma $SS = \sum_{k=1}^m x_k^{(q+1)}$ para que valga:

$$TMT + TPT = (1 - r) \cdot T$$

$$TPk + \left(x_k^{(q+1)} - TPk \right) \cdot \frac{TM}{SS - TPT} \rightarrow x_k^{(q+1)}$$

4) Analizar la diferencia con X , si es inapreciable STOP, en caso contrario calcular la nueva μ y volver a (2).

Su misión es construir un paquete informático que pueda resolver el ELSP por el método descrito. El paquete debería poseer las siguientes características:

- entrada convivial de datos,
- determinar el coste y los lotes suponiendo todas las piezas independientes, y conjuntamente, con un lote por ciclo (por ejemplo siguiendo 5.1.4.2.3, o mediante las fórmulas dadas con $k_j = 1$). Estos costes servirán de referencia,
- utilizar el procedimiento descrito,
- si quedan dos lotes de la misma pieza seguidos (el k y el $k+1$) del artículo j , comprobar si conviene reducirlos a uno solo mediante:

$$t_k \cdot t_{k+1} < \frac{D_j \cdot CL_j}{i \cdot CA_j \cdot P_j \cdot \left(P_j - \frac{D_j}{ND} \right)}$$

NOTA: Revisar las unidades de las fórmulas (dualidad días/año)

5.4.35 El lote óptimo para un solo artículo, sin limitaciones de espacio ni de tiempo, se puede determinar, como es conocido, con la fórmula de Harris-Wilson, la cual no discutiremos ahora.

Si hay n artículos, en general hay que considerar una limitación de espacio (o de inmovilizado, etc.) la cual se traduce en una sola restricción lineal. Si los artículos se producen con una sola máquina (dejando a un lado problemas de secuenciación) hay una limitación de tiempo y puede que los lotes tengan que ser mayores que los que corresponderían según la fórmula de Harris-Wilson, para de reducir el número de lanzamientos; a esta condición le corresponde una restricción no lineal.

Cada artículo tiene un tiempo, un coste de lanzamiento y un coste de posesión, y ocupa un cierto espacio.

Se trata de plantear y resolver (con procedimientos estándar) un programa matemático para este problema (primero con una restricción lineal y, luego, con un número cualquiera de restricciones de este tipo).

5.4.36 Las reglas de gestión stock-producción de ACTON

Propósito

Se pretende construir un programa que simule el comportamiento de las delegaciones de una empresa. Las ventas se producen a ritmo diario 6 días por semana (con estacionalidad semanal y diaria). Cada delegación emite cada día d , un pedido para el día $d+L$ (en el caso concreto $L = 6$) y son los pedidos rígidos (inmodificables).

Para hacer el pedido el jefe de la Delegación tiene en cuenta las ventas habidas, las previsiones de la demanda y el stock existente y previsto. El nivel de stock está fijado en k días de ventas (en el caso concreto $k = 2,5$).

Formato

Interesa ver cómo fluctúan los pedidos ante oscilaciones simples de la demanda. Para ello se partirá de una situación estable (por ejemplo, como si la demanda hubiese sido, así como las previsiones y por tanto los pedidos de valor 100). El día 10, las ventas empiezan a oscilar de una forma prescrita (deben existir varios tipos de formas de las ventas).

En función de la historia se efectúa una previsión de la demanda futura (deben existir varias formas de previsión).

Teniendo en cuenta el stock existente, los pedidos cursados y la previsión de la demanda, se proyectará el stock al día $d+L-1$. A continuación, con la previsión de la demanda del día L (desestacionalizada en su caso) se determinará el stock objetivo del día $d+L$, y sumando a la previsión del día $d+L$ la variación estimada de stock se tendrá el pedido (que no puede ser negativo).

Interesa una presentación gráfica de la evolución de las ventas y la de los pedidos.

Realización

- el programa se realizará en alguna variante de Basic (por ejemplo Quick-Basic) y se entregará la fuente, el compilado y el manual del usuario,
- se emplearán las posibilidades de la pantalla en color, aunque el programa será utilizable en bicolor,
- la comunicación con el ordenador debe ser amigable, con posibilidad de corrección de errores,
- tanto L como k se deben poder modificar.

5.5 Anexo 1 : Tablas

Se reproducen a continuación cuatro tablas correspondientes a los valores de $H_N(s)$ e $y_N(s)$ en la ley normal centrada y reducida:

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.00	0.500000	0.498011	0.492022	0.488033	0.484046	0.480061	0.476078	0.472097	0.468119	0.464144
0.10	0.460172	0.456205	0.452242	0.448283	0.444330	0.440382	0.436441	0.432505	0.428576	0.424655
0.20	0.420740	0.416834	0.412936	0.409046	0.405165	0.401294	0.397432	0.393580	0.389739	0.385908
0.30	0.382089	0.378281	0.374484	0.370700	0.366928	0.363169	0.359424	0.355691	0.351973	0.348268
0.40	0.344578	0.340903	0.337243	0.333598	0.329969	0.326355	0.322758	0.319178	0.315614	0.312067
0.50	0.308538	0.305026	0.301532	0.298056	0.294598	0.291160	0.287740	0.284339	0.280957	0.277595
0.60	0.274253	0.270931	0.267629	0.264347	0.261086	0.257846	0.254627	0.251429	0.248252	0.245097
0.70	0.241964	0.238852	0.235762	0.232695	0.229650	0.226627	0.223627	0.220650	0.217695	0.214764
0.80	0.211855	0.208970	0.206108	0.203269	0.200454	0.197662	0.194894	0.192150	0.189430	0.186733
0.90	0.184080	0.181411	0.178766	0.176146	0.173549	0.171056	0.168528	0.166023	0.163543	0.161087
1.00	0.158655	0.156248	0.153864	0.151505	0.149170	0.146859	0.144572	0.142310	0.140071	0.137857
1.10	0.135666	0.133500	0.131357	0.129238	0.127143	0.125072	0.123024	0.121001	0.119000	0.117023
1.20	0.115070	0.113140	0.111232	0.109349	0.107488	0.105650	0.103835	0.102042	0.100273	0.098525
1.30	0.096801	0.095098	0.093418	0.091759	0.090123	0.088508	0.086915	0.085344	0.083793	0.082264
1.40	0.080757	0.079270	0.077804	0.076359	0.074934	0.073529	0.072145	0.070781	0.069437	0.068112
1.50	0.068807	0.067522	0.066256	0.065008	0.063780	0.062571	0.061380	0.060208	0.059053	0.057917
1.60	0.054799	0.053699	0.052616	0.051551	0.050503	0.049471	0.048457	0.047460	0.046479	0.045514
1.70	0.044565	0.043633	0.042716	0.041815	0.040929	0.040059	0.039204	0.038364	0.037538	0.036727
1.80	0.035930	0.035148	0.034379	0.033625	0.032884	0.032157	0.031443	0.030742	0.030054	0.029379
1.90	0.028716	0.028067	0.027429	0.026803	0.026190	0.025588	0.024998	0.024419	0.023852	0.023295
2.00	0.022750	0.022216	0.021692	0.021178	0.020675	0.020182	0.019699	0.019226	0.018763	0.018309
2.10	0.017864	0.017429	0.017003	0.016586	0.016177	0.015778	0.015386	0.015003	0.014629	0.014262
2.20	0.013903	0.013553	0.013209	0.012874	0.012545	0.012224	0.011911	0.011604	0.011304	0.011011
2.30	0.010724	0.010444	0.010170	0.009903	0.009642	0.009387	0.009137	0.008894	0.008656	0.008424
2.40	0.008198	0.007976	0.007760	0.007549	0.007344	0.007143	0.006947	0.006756	0.006569	0.006387
2.50	0.006210	0.006037	0.005868	0.005703	0.005543	0.005388	0.005234	0.005085	0.004940	0.004799
2.60	0.004661	0.004527	0.004397	0.004269	0.004145	0.004025	0.003907	0.003793	0.003681	0.003573
2.70	0.003467	0.003364	0.003264	0.003167	0.003072	0.002980	0.002890	0.002803	0.002718	0.002635
2.80	0.002555	0.002477	0.002401	0.002327	0.002256	0.002186	0.002118	0.002052	0.001988	0.001928
2.90	0.001866	0.001807	0.001750	0.001695	0.001641	0.001589	0.001538	0.001489	0.001441	0.001395
3.00	0.001350	0.001306	0.001264	0.001223	0.001183	0.001144	0.001107	0.001070	0.001035	0.001001
3.10	0.000968	0.000936	0.000904	0.000874	0.000845	0.000816	0.000789	0.000762	0.000736	0.000711
3.20	0.000687	0.000664	0.000641	0.000619	0.000598	0.000577	0.000557	0.000538	0.000519	0.000501
3.30	0.000483	0.000467	0.000450	0.000434	0.000419	0.000404	0.000390	0.000376	0.000362	0.000350
3.40	0.000337	0.000325	0.000313	0.000302	0.000291	0.000280	0.000270	0.000260	0.000251	0.000242
3.50	0.000233	0.000224	0.000216	0.000208	0.000200	0.000193	0.000185	0.000179	0.000172	0.000165
3.60	0.000159	0.000153	0.000147	0.000142	0.000136	0.000131	0.000126	0.000121	0.000117	0.000112
3.70	0.000108	0.000104	0.000100	0.000096	0.000092	0.000088	0.000085	0.000082	0.000078	0.000075
3.80	0.000072	0.000070	0.000067	0.000064	0.000062	0.000059	0.000057	0.000054	0.000052	0.000050
3.90	0.000048	0.000046	0.000044	0.000042	0.000041	0.000039	0.000037	0.000036	0.000034	0.000033
4.00	0.000032	0.000030	0.000029	0.000028	0.000027	0.000026	0.000025	0.000024	0.000023	0.000022

Figura 5.A.1.1 Tabla de la ley normal que para los valores $s = t$ proporciona el valor de $H_N(s)$, por ejemplo si $t = 1,25$ en la tabla se obtiene 0,105650

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.00	0.398942	0.393962	0.389022	0.384122	0.379261	0.374441	0.369660	0.364919	0.360218	0.355557
0.10	0.350935	0.346353	0.341811	0.337309	0.332846	0.328422	0.324038	0.319693	0.315388	0.311122
0.20	0.308895	0.302707	0.298558	0.294448	0.290377	0.286345	0.282351	0.278396	0.274479	0.270601
0.30	0.266761	0.262969	0.259196	0.255470	0.251782	0.248131	0.244518	0.240943	0.237404	0.233903
0.40	0.230439	0.227011	0.223621	0.220267	0.216949	0.213667	0.210422	0.207212	0.204038	0.200900
0.50	0.197797	0.194729	0.191696	0.188698	0.185735	0.182806	0.179912	0.177051	0.174225	0.171432
0.60	0.168673	0.165947	0.163254	0.160594	0.157967	0.155372	0.152810	0.150280	0.147781	0.145315
0.70	0.142879	0.140475	0.138102	0.135760	0.133448	0.131167	0.128916	0.126694	0.124503	0.122340
0.80	0.120207	0.118103	0.116028	0.113981	0.111962	0.109972	0.108009	0.106074	0.104166	0.102285
0.90	0.100431	0.098604	0.096803	0.095028	0.093279	0.091556	0.089858	0.088185	0.086537	0.084914
1.00	0.083315	0.081741	0.080190	0.078664	0.077160	0.075680	0.074223	0.072789	0.071377	0.069987
1.10	0.068619	0.067274	0.065949	0.064646	0.063365	0.062103	0.060863	0.059643	0.058443	0.057263
1.20	0.056102	0.054961	0.053840	0.052737	0.051652	0.050587	0.049539	0.048510	0.047498	0.046504
1.30	0.045528	0.044568	0.043626	0.042700	0.041791	0.040897	0.040020	0.039159	0.038313	0.037483
1.40	0.036668	0.035868	0.035083	0.034312	0.033555	0.032813	0.032085	0.031370	0.030669	0.029981
1.50	0.028307	0.028645	0.027996	0.027360	0.026736	0.026124	0.025525	0.024937	0.024360	0.023796
1.60	0.023242	0.022700	0.022168	0.021647	0.021137	0.020637	0.020147	0.019668	0.019198	0.018738
1.70	0.018288	0.017847	0.017415	0.016993	0.016579	0.016174	0.015778	0.015390	0.015010	0.014639
1.80	0.014276	0.013920	0.013573	0.013233	0.012900	0.012575	0.012257	0.011946	0.011642	0.011345
1.90	0.011054	0.010771	0.010493	0.010222	0.009957	0.009698	0.009445	0.009198	0.008957	0.008721
2.00	0.008491	0.008266	0.008046	0.007832	0.007623	0.007419	0.007219	0.007025	0.006835	0.006649
2.10	0.006468	0.006292	0.006120	0.005952	0.005788	0.005628	0.005472	0.005321	0.005172	0.005028
2.20	0.004887	0.004750	0.004616	0.004486	0.004359	0.004235	0.004114	0.003996	0.003882	0.003770
2.30	0.003862	0.003766	0.003673	0.003582	0.003493	0.003406	0.003321	0.003237	0.003155	0.003074
2.40	0.002720	0.002640	0.002561	0.002484	0.002410	0.002337	0.002267	0.002198	0.002132	0.002067
2.50	0.002004	0.001943	0.001883	0.001825	0.001769	0.001715	0.001662	0.001610	0.001560	0.001511
2.60	0.001464	0.001418	0.001373	0.001330	0.001288	0.001247	0.001207	0.001169	0.001131	0.001095
2.70	0.001080	0.001028	0.000993	0.000961	0.000929	0.000899	0.000870	0.000841	0.000814	0.000787
2.80	0.000761	0.000736	0.000711	0.000688	0.000665	0.000643	0.000621	0.000600	0.000580	0.000560
2.90	0.000541	0.000523	0.000505	0.000488	0.000471	0.000455	0.000440	0.000425	0.000410	0.000396
3.00	0.000382	0.000369	0.000356	0.000343	0.000331	0.000320	0.000308	0.000298	0.000287	0.000277
3.10	0.000267	0.000258	0.000248	0.000239	0.000231	0.000223	0.000215	0.000207	0.000199	0.000192
3.20	0.000185	0.000178	0.000172	0.000165	0.000159	0.000154	0.000148	0.000142	0.000137	0.000132
3.30	0.000127	0.000122	0.000118	0.000113	0.000109	0.000105	0.000101	0.000097	0.000093	0.000090
3.40	0.000086	0.000083	0.000080	0.000077	0.000074	0.000071	0.000068	0.000066	0.000063	0.000061
3.50	0.000058	0.000056	0.000054	0.000052	0.000050	0.000048	0.000046	0.000044	0.000042	0.000041
3.60	0.000039	0.000037	0.000036	0.000034	0.000033	0.000032	0.000030	0.000029	0.000028	0.000027
3.70	0.000026	0.000025	0.000024	0.000023	0.000022	0.000021	0.000020	0.000019	0.000018	0.000018
3.80	0.000017	0.000016	0.000016	0.000015	0.000014	0.000014	0.000013	0.000013	0.000012	0.000011
3.90	0.000011	0.000011	0.000010	0.000010	0.000009	0.000009	0.000008	0.000008	0.000008	0.000007
4.00	0.000007	0.000007	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000005	0.000005	0.000005	0.000005

Figura 5.A.1.2 Tabla de la ley que para los valores $s = t$ proporciona el valor de $f_i(t) = y_n(s)$, por ejemplo para $t = 1,25$ en la tabla se obtiene 0,050587

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.000	∞	3.090256	2.678194	2.747811	2.652095	2.575863	2.512167	2.457288	2.408927	2.366647
0.010	2.326374	2.290371	2.257151	2.226237	2.197307	2.170090	2.144436	2.120071	2.096948	2.074879
0.020	2.053771	2.033542	2.014114	1.995417	1.977386	1.959963	1.943154	1.926856	1.911044	1.895720
0.030	1.880800	1.866317	1.852195	1.838435	1.825029	1.811924	1.799125	1.786633	1.774403	1.762428
0.040	1.750691	1.739204	1.727948	1.716904	1.706063	1.695418	1.684962	1.674685	1.664563	1.654648
0.050	1.644874	1.635254	1.625783	1.616455	1.607264	1.598205	1.589273	1.580470	1.571798	1.563241
0.060	1.554793	1.546451	1.538210	1.530068	1.522049	1.514120	1.506280	1.498523	1.490859	1.483297
0.070	1.475809	1.468394	1.461064	1.453824	1.446688	1.439653	1.432717	1.425862	1.418982	1.412184
0.080	1.405089	1.398386	1.391754	1.385189	1.378667	1.372166	1.365683	1.359217	1.352769	1.346338
0.090	1.340780	1.334639	1.328548	1.322518	1.316534	1.310583	1.304670	1.298784	1.292904	1.287028
0.100	1.281560	1.275890	1.270239	1.264657	1.259090	1.253580	1.248095	1.242654	1.237247	1.231873
0.110	1.226542	1.221234	1.215975	1.210732	1.205542	1.200361	1.195238	1.190119	1.185059	1.180001
0.120	1.175002	1.170003	1.165062	1.160121	1.155236	1.150352	1.145519	1.140691	1.135910	1.131137
0.130	1.126404	1.121685	1.116999	1.112332	1.107690	1.103074	1.098478	1.093911	1.089352	1.084837
0.140	1.080321	1.075850	1.071383	1.066949	1.062529	1.058130	1.053757	1.049390	1.045063	1.040735
0.150	1.036445	1.032163	1.027902	1.023663	1.019430	1.015235	1.011039	1.006875	1.002727	0.998582
0.160	0.994470	0.990368	0.986283	0.982211	0.978158	0.974126	0.970094	0.966070	0.962052	0.958041
0.170	0.954177	0.950222	0.946302	0.942385	0.938482	0.934601	0.930720	0.926868	0.923023	0.919186
0.180	0.915378	0.911567	0.907777	0.904003	0.900227	0.896463	0.892742	0.889010	0.885301	0.881593
0.190	0.877903	0.874228	0.870552	0.866876	0.863259	0.859619	0.856000	0.852393	0.848791	0.845209
0.200	0.841627	0.838061	0.834509	0.830957	0.827426	0.823903	0.820380	0.816863	0.813359	0.809866
0.210	0.806430	0.802964	0.799503	0.796044	0.792626	0.789194	0.785783	0.782372	0.778969	0.775584
0.220	0.772200	0.768824	0.765465	0.762107	0.758757	0.755424	0.752091	0.748767	0.745459	0.742150
0.230	0.738850	0.735566	0.732282	0.729006	0.725746	0.722486	0.719231	0.715984	0.712758	0.709524
0.240	0.705311	0.703097	0.699884	0.696692	0.693501	0.690310	0.687138	0.683969	0.680799	0.677646
0.250	0.674498	0.671350	0.668214	0.665087	0.661960	0.658841	0.655734	0.652628	0.649525	0.646439
0.260	0.643382	0.640266	0.637188	0.634131	0.631065	0.628011	0.624963	0.621916	0.618876	0.615847
0.270	0.612819	0.609792	0.606782	0.603772	0.600762	0.597765	0.594773	0.591781	0.588796	0.585822
0.280	0.582847	0.579874	0.576916	0.573969	0.571002	0.568056	0.565115	0.562175	0.559239	0.556318
0.290	0.553391	0.550467	0.547556	0.544648	0.541740	0.538839	0.535946	0.533054	0.530162	0.527284
0.300	0.524407	0.521530	0.518660	0.515798	0.512936	0.510074	0.507226	0.504378	0.501531	0.498690
0.310	0.495888	0.493023	0.490190	0.487389	0.484550	0.481730	0.478916	0.476110	0.473304	0.470498
0.320	0.467703	0.464910	0.462117	0.459328	0.456548	0.453768	0.450988	0.448216	0.445448	0.442681
0.330	0.439913	0.437158	0.434403	0.431647	0.428897	0.426153	0.423410	0.420666	0.417931	0.415199
0.340	0.412467	0.409736	0.407015	0.404294	0.401573	0.398857	0.396147	0.393437	0.390727	0.388025
0.350	0.385325	0.382626	0.379927	0.377236	0.374544	0.371859	0.369173	0.366494	0.363814	0.361135
0.360	0.358461	0.355792	0.353122	0.350452	0.347790	0.345130	0.342470	0.339810	0.337159	0.334507
0.370	0.331856	0.329207	0.326565	0.323922	0.321280	0.318641	0.316007	0.313373	0.310739	0.308111
0.380	0.305485	0.302859	0.300233	0.297614	0.294996	0.292378	0.289760	0.287150	0.284539	0.281929
0.390	0.279320	0.276717	0.274114	0.271510	0.268910	0.266314	0.263718	0.261121	0.258529	0.255940
0.400	0.253350	0.250761	0.248178	0.245593	0.243010	0.240427	0.237849	0.235272	0.232695	0.230118
0.410	0.227547	0.224976	0.222405	0.219835	0.217270	0.214704	0.212139	0.209575	0.207015	0.204455
0.420	0.201895	0.199337	0.196782	0.194227	0.191672	0.189119	0.186569	0.184019	0.181469	0.178922
0.430	0.176378	0.173831	0.171286	0.168742	0.166201	0.163660	0.161119	0.158581	0.156044	0.153507
0.440	0.150970	0.148435	0.145902	0.143369	0.140836	0.138305	0.135775	0.133246	0.130716	0.128189
0.450	0.125863	0.123136	0.120610	0.118086	0.115563	0.113040	0.110516	0.107995	0.105475	0.102954
0.460	0.100434	0.097915	0.095397	0.092879	0.090361	0.087845	0.085330	0.082814	0.080298	0.077784
0.470	0.075271	0.072757	0.070243	0.067731	0.065219	0.062707	0.060195	0.057685	0.055174	0.052664
0.480	0.050153	0.047644	0.045135	0.042626	0.040117	0.037608	0.035100	0.032592	0.030084	0.027577
0.490	0.025069	0.022562	0.020054	0.017547	0.015040	0.012534	0.010027	0.007520	0.005013	0.002507

Figura 5.A.1.3 Tabla de la ley normal que para los valores $H_N(s)$ proporciona el valor de s , por ejemplo para $H=0,106$ en la tabla se obtiene $1,248095$

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.000	0.006000	0.006277	0.006584	0.006906	0.007239	0.007581	0.007930	0.008288	0.008648	0.009016
0.010	0.003389	0.003768	0.004148	0.004535	0.004925	0.005319	0.005717	0.006119	0.006524	0.006932
0.020	0.007343	0.007758	0.008176	0.008596	0.009020	0.009446	0.009875	0.010307	0.010742	0.011179
0.030	0.011618	0.012061	0.012505	0.012952	0.013402	0.013853	0.014307	0.014764	0.015223	0.015683
0.040	0.016148	0.016612	0.017079	0.017549	0.018020	0.018494	0.018970	0.019448	0.019928	0.020409
0.050	0.020893	0.021379	0.021867	0.022356	0.022848	0.023341	0.023837	0.024334	0.024833	0.025334
0.060	0.025837	0.026341	0.026848	0.027356	0.027866	0.028378	0.028891	0.029406	0.029923	0.030442
0.070	0.030983	0.031485	0.032009	0.032535	0.033062	0.033591	0.034121	0.034654	0.035188	0.035723
0.080	0.036281	0.036800	0.037340	0.037883	0.038426	0.038972	0.039519	0.040067	0.040618	0.041170
0.090	0.041723	0.042278	0.042834	0.043393	0.043953	0.044513	0.045077	0.045641	0.046207	0.046774
0.100	0.047343	0.047914	0.048486	0.049060	0.049635	0.050212	0.050790	0.051370	0.051951	0.052534
0.110	0.053118	0.053703	0.054291	0.054879	0.055470	0.056061	0.056655	0.057249	0.057846	0.058443
0.120	0.059043	0.059643	0.060245	0.060848	0.061454	0.062060	0.062669	0.063277	0.063886	0.064501
0.130	0.065115	0.065730	0.066347	0.066965	0.067585	0.068206	0.068828	0.069452	0.070077	0.070705
0.140	0.071332	0.071963	0.072593	0.073226	0.073860	0.074495	0.075133	0.075773	0.076411	0.077051
0.150	0.077695	0.078338	0.078984	0.079631	0.080279	0.080929	0.081580	0.082230	0.082887	0.083542
0.160	0.084200	0.084857	0.085518	0.086176	0.086841	0.087505	0.088170	0.088838	0.089505	0.090175
0.170	0.090847	0.091518	0.092193	0.092868	0.093545	0.094223	0.094902	0.095584	0.096266	0.096949
0.180	0.097636	0.098322	0.099010	0.099700	0.100390	0.101083	0.101777	0.102471	0.103169	0.103866
0.190	0.104586	0.105287	0.105988	0.106690	0.107393	0.108098	0.108804	0.109502	0.110212	0.110925
0.200	0.111639	0.112354	0.113071	0.113788	0.114508	0.115229	0.115950	0.116675	0.117400	0.118125
0.210	0.118854	0.119584	0.120313	0.121047	0.121780	0.122515	0.123252	0.123990	0.124729	0.125470
0.220	0.126212	0.126956	0.127702	0.128448	0.129195	0.129946	0.130696	0.131448	0.132203	0.132958
0.230	0.133714	0.134473	0.135232	0.135993	0.136757	0.137520	0.138285	0.139053	0.139821	0.140590
0.240	0.141362	0.142135	0.142908	0.143685	0.144462	0.145239	0.146021	0.146802	0.147584	0.148370
0.250	0.149186	0.149983	0.150782	0.151583	0.152384	0.153187	0.153993	0.154800	0.155606	0.156416
0.260	0.157097	0.157908	0.158720	0.159535	0.160351	0.161168	0.161984	0.162794	0.163607	0.164422
0.270	0.165188	0.166004	0.166824	0.167645	0.168465	0.169289	0.170115	0.170941	0.171768	0.172595
0.280	0.173430	0.174260	0.175096	0.175932	0.176768	0.177607	0.178448	0.179289	0.180132	0.180978
0.290	0.181825	0.182671	0.183522	0.184373	0.185225	0.186079	0.186936	0.187793	0.188650	0.189512
0.300	0.190375	0.191237	0.192101	0.192970	0.193838	0.194706	0.195580	0.196453	0.197327	0.198203
0.310	0.199082	0.199962	0.200841	0.201725	0.202610	0.203496	0.204382	0.205273	0.206163	0.207054
0.320	0.207949	0.208846	0.209742	0.210640	0.211542	0.212444	0.213347	0.214253	0.215161	0.216069
0.330	0.216977	0.217892	0.218806	0.219720	0.220637	0.221557	0.222477	0.223397	0.224322	0.225249
0.340	0.226175	0.227102	0.228034	0.228967	0.229900	0.230835	0.231773	0.232712	0.233651	0.234595
0.350	0.235540	0.236485	0.237430	0.238382	0.239333	0.240285	0.241238	0.242196	0.243154	0.244112
0.360	0.245074	0.246039	0.247003	0.247968	0.248938	0.249909	0.250880	0.251852	0.252829	0.253807
0.370	0.254786	0.255766	0.256750	0.257734	0.258719	0.259707	0.260696	0.261680	0.262661	0.263648
0.380	0.264676	0.265674	0.266673	0.267674	0.268673	0.269688	0.270694	0.271707	0.272719	0.273731
0.390	0.274746	0.275766	0.276785	0.277804	0.278827	0.279854	0.280881	0.281906	0.282930	0.283953
0.400	0.285007	0.286041	0.287080	0.288122	0.289163	0.290205	0.291253	0.292302	0.293351	0.294400
0.410	0.296486	0.297539	0.298590	0.299642	0.300691	0.301745	0.302799	0.303853	0.304907	0.305961
0.420	0.308101	0.309175	0.310255	0.311335	0.312415	0.313497	0.314582	0.315667	0.316751	0.317836
0.430	0.318948	0.319944	0.320940	0.321940	0.322940	0.323940	0.324940	0.325940	0.326940	0.327940
0.440	0.327997	0.329114	0.330235	0.331355	0.332476	0.333597	0.334713	0.335830	0.336946	0.338062
0.450	0.339282	0.340399	0.341536	0.342681	0.343827	0.344973	0.346119	0.347270	0.348421	0.349572
0.460	0.350737	0.351899	0.353062	0.354226	0.355390	0.356554	0.357719	0.358887	0.360051	0.361216
0.470	0.362442	0.363623	0.364805	0.365995	0.367186	0.368377	0.369568	0.370767	0.371967	0.373167
0.480	0.374367	0.375576	0.376786	0.377996	0.379205	0.380424	0.381643	0.382862	0.384081	0.385309
0.490	0.386638	0.387767	0.388895	0.390024	0.391152	0.392271	0.393399	0.394527	0.395656	0.396784

Figura 5.A.1.4 Tabla que para los valores $H_N(s)$ proporciona el valor $f_i(s)$, por ejemplo para $H=0,106$ en la tabla se obtiene 0,0507903

Para una ley normal $h(x)$, de media mL y desviación tipo L utilizamos la variable auxiliar:

$$t = \frac{s - mL}{FL}$$

El valor $H(s)$ coincide con el $H_N(t)$ de la ley normal centrada y reducida, que puede obtenerse en la tabla de la figura 5.A.1.1. En cuanto al valor $y(s)$ es igual a:

$$y(s) = \sigma L \cdot \phi(t)$$

pudiéndose obtener el valor (t) en la tabla de la figura 5.A.1.2 a partir de t , o bien en la de la 5.A.1.4 a partir de $H(s)$ directamente.

Si para leyes distintas de la normal establecemos las relaciones análogas, es decir, hacemos:

$$y(s) = \sigma L \cdot \phi(t) \quad \text{con} \quad t = \frac{S - mL}{\sigma L}$$

La relación entre $H(s)$ y (t) es muy estable. En las figuras 5.A.1.5a y 5.A.1.5b se presentan unos ábacos que muestran dicha relación para diferentes leyes.

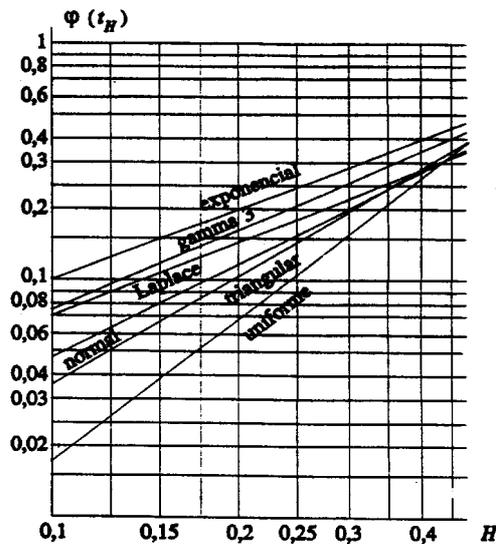


Figura 5.A.1.5a

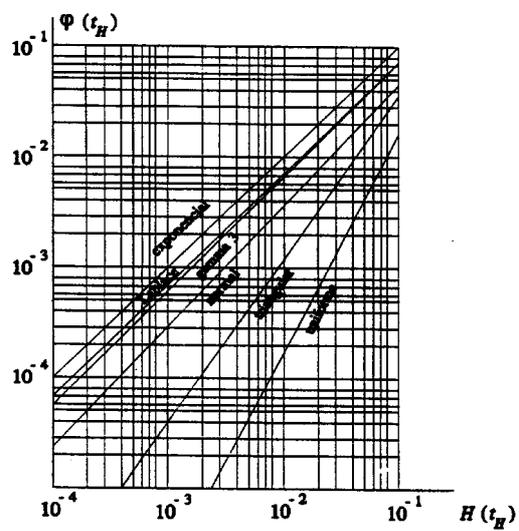


Figura 5.A.1.5b