

## Criterio de corrección

### Interrogación 2

#### **Parte 1** (25 pts)

**Responda las siguientes preguntas respecto al libro:**

- (a) **Alex Rogo cuestionó que las máquinas que no son cuello de botella produzcan a máxima capacidad. Comente si está bien o no, y por qué. (5p)**

R. No está bien que produzcan a máxima capacidad, porque si las máquinas que no son cuellos de botella producen a máxima capacidad, se generan inventarios excesivos de piezas que no son requeridas en el momento adecuado, lo cual aumenta los costos de inventario y baja la rentabilidad de la planta. Las máquinas cuello de botella son las que definen el ritmo de la operación.

5 puntos por explicar

- (b) **En medio de la búsqueda de soluciones para el problema de la planta, alguien propone quitarle carga de trabajo a la NCX10 sacándole algunas etapas del proceso que había para cada parte. Comente si esta propuesta tenía sentido o no, y por qué. (5p)**

R. Tenía mucho sentido, ya que, al quitarle carga de trabajo de la NCX10, se genera un aumento de capacidad al cuello de botella y se descongestiona, lo cual acelera o mejora el proceso productivo hasta la capacidad del nuevo cuello de botella.

(En el caso en que se haya entendido como quitar etapas previas) No tendría sentido, pues, por un lado, llegaría una mayor cantidad de piezas con fallas y, además, llegarían antes, por lo que se vería más colapsado el cuello de botella.

5 puntos por explicar dada la situación tomada

- (c) **Según lo aprendido de un proceso productivo en La Meta, ¿qué pasa si las etapas sucesivas van primero desde la más rápida hasta las más lentas al final y todos los trabajadores de todas las etapas trabajan a máxima eficiencia? (5p)**

R. Tal como se observa en la fila de avance en la excursión, si el primero va más rápido que el resto, se generan diferencias entre las etapas puesto que la velocidad de cada trabajador ya no dependería de quien lo precede sino de su propia velocidad. Al existir fluctuaciones de velocidades, estas se van acumulando, generando una acumulación de inventario innecesario entre las etapas, con el correspondiente aumento de costos.

5 puntos por explicar qué ocurre

- (d) **Rogo se va de excursión a cargo de un grupo de niños que incluye a su hijo Dave. Cuando paran a almorzar se ponen a jugar a un juego en la mesa de picnic. Describa en forma concisa en qué consiste el juego y la relación que tiene con la Planta que él administra. (10p)**

R. Se ponen los niños uno al lado del otro como una cadena o línea productiva, cada uno con un stock inicial de fósforos. Luego, en cada turno, se lanza el dado

(representa demanda de su cliente aguas abajo) y sólo se avanzan las cerillas disponibles. Muy similar al juego de la cerveza.

El juego permitió ejemplificar y demostrar la existencia de los eventos dependientes y las fluctuaciones estadísticas, los cuales mostraron su efecto en el juego. La capacidad de producir depende de lo que haya sucedido en los procesos anteriores (hechos dependientes) y las fluctuaciones en la capacidad dadas por los dados, hacen que la capacidad del proceso se vea disminuida, tal como ocurría en la planta de Rogo.

5 puntos por descripción del juego

5 puntos por explicar la relación con la planta – se descuentan 3 ptos si solo se menciona 1

## **Parte 2 (25 pts)**

- (a) **Considere el caso Blanchard Importing and Distributing Co., Inc. Asuma que Blanchard está evaluando la alternativa de instalar una nueva línea embotelladora, de manera de poder realizar el proceso de embotellado en dos líneas paralelas y así disminuir los quiebres de stock observados. Analice las ventajas y desventajas de esta solución. (6p)**

**Ventajas:** El hecho de tener una segunda línea embotelladora permite aumentar la capacidad con dos líneas paralela que embotellan dos lotes de productos/tamaños diferentes al mismo tiempo, lo que podría ayudar a implementar el modelo EOQ propuesto ya que sería más fácil el cambio de tamaño, evitando que se generen tantos cambios de setup, que es donde está una de las grandes ineficiencias de la compañía. Además, al tener otra línea embotelladora se ajusta más a los supuestos fuertes del EOQ (cada producto tiene su propia línea embotelladora), por lo que su implementación se hace un poco más factible. El uso del modelo EOQ asume que siempre hay disponibilidad del equipamiento para producir cuando se pone una nueva orden al alcanzar el punto de reordenamiento, este no es el caso de Blanchard donde muchos productos (158) compiten por la misma línea.

3 puntos por las ventajas

**Desventajas:** Actualmente Blanchard no tiene problema de capacidad ya que la línea actual tiene una utilización del 30%, el problema es que toma un día entero hacer el cambio de tamaño. Una segunda línea requiere un mayor esfuerzo por parte de la compañía, por un lado, es una gran inversión en la que deben incurrir, una línea embotelladora es uno de los principales componentes para el funcionamiento de la fábrica, y se necesita también una mayor organización y coordinación entre los empleados para que funcione la solución.

3 puntos por las desventajas

- (b) **“En el modelo EOQ, a mayor R (punto de reorden) mayor será  $Q^*$  (lote óptimo a ordenar)”. Comente. (4p)**

R: La afirmación no es correcta ya que las relaciones para determinar tanto el punto de reorden como el lote óptimo, no se relacionan entre sí, puesto que ambas se determinan con parámetros del sistema y R no depende Q, ni Q depende de R.

4 puntos por las comentar que no es correcta y su justificación.

$$R = L \cdot D$$

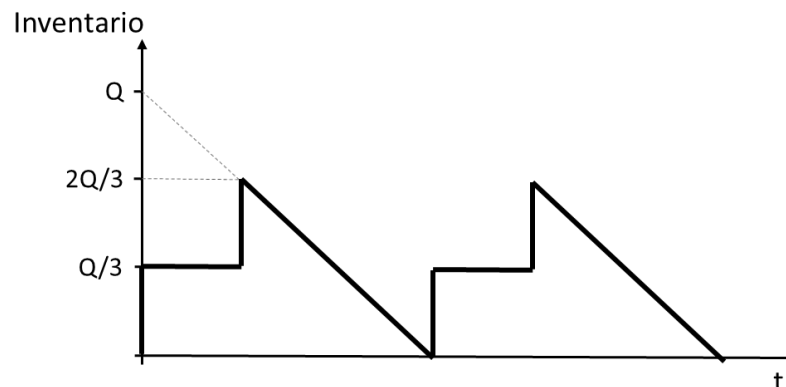
- L: Lead time.
- D: Demanda.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

- D: Demanda.
- S: Costo de set up.
- H: Costo de inventario.

(c) Considere la cadena de abastecimiento de una empresa manufacturera en que el diseño de sus procesos consiste en dos estaciones de trabajo en serie. La estación 1 recibe en forma instantánea la materia prima desde un proveedor externo cada vez que se ordena. La estación 2, que debe satisfacer una demanda externa de  $D$  unidades al año (tasa constante  $d$ ), recibe cada pedido de la siguiente forma: el primer tercio en forma instantánea, el segundo tercio a la tasa  $r$  en que la estación 1 es capaz de producir (tasa  $r$  es igual a  $d$ ), y el último tercio también en forma instantánea. Cada vez que la estación 2 pone una orden debe incurrir en un costo  $(K-P)$  de preparación de orden, donde  $P$  representa el precio de venta unitario. Cada unidad en inventario a la empresa le cuesta  $h$  al año. i) Grafique la evolución del nivel de inventario en el tiempo para la estación 2; ii) derive detalladamente una política óptima de inventario para la misma estación; y iii) utilizando el resultado anterior, establezca una política óptima de precio para maximizar las ventas en \$ de un ciclo de inventario, es decir, encuentre el precio óptimo de venta. (10p)

i)



3 puntos por el gráfico con las respectivas unidades en los ejes.

ii)  $CT = \text{Costo productos} + \text{Costo de ordenar} + \text{Costo de mantener en el inventario}$

$$CT = CD + \frac{D}{Q} \cdot (K - P) + I_{prom} \cdot h$$

El inventario promedio en un ciclo se compone de dos partes. Es  $Q/3$  durante el primer tercio del ciclo (se mantiene constante en  $Q/3$ ), y luego los restantes dos tercios del ciclo baja lineal desde  $2Q/3$  a cero con promedio de  $Q/3$  también. Por lo tanto, el inventario promedio en el ciclo y todo el tiempo es:

$$I_{prom} = \frac{Q}{3}$$

1 punto por inventario promedio.

Derivando e igualando a cero:

$$\frac{dCT}{dQ} = \frac{h}{3} - D \cdot \frac{(K - P)}{Q^2}$$
$$Q^* = \sqrt{\frac{3D(K - P)}{h}}$$

2 puntos por el desarrollo de los costos totales.

1 punto por llegar al resultado correcto.

iii)

Para la política de precio, se maximiza los ingresos:

$$\max P \cdot Q$$

Reemplazando  $Q$ , por  $Q$  óptimo,

$$P \cdot \sqrt{\frac{3D(K - P)}{h}}$$

2 puntos por desarrollo.

Derivando e igualando a 0, se tiene que  $P = \frac{2K}{3}$

1 punto por llegar al resultado correcto.

- (d) En el contexto de modelos de inventario considerando incertidumbre, señale lo siguiente: (i) cuál es la varianza de la demanda durante el leadtime de reposición y por qué, cuando la demanda diaria  $d$  es una variable aleatoria (v.a.) con media  $d'$  y desviación estándar  $\sigma_d$ , y el leadtime de reposición (en días) es una constante  $L$ ; (ii) cuál es la varianza de la demanda durante el leadtime de reposición y por qué, cuando la demanda diaria  $d$  es una constante, y el

**leadtime de reposición (en días)  $L$  es una v.a. con media  $L'$  y desviación estándar  $\sigma_L$ . (5p)**

- i) La varianza de la demanda durante el lead time se puede obtener como:

$$Var_{LT} = Var(d_1 + \dots + d_L) = Var(d_1) + \dots + Var(d_L) = L * \sigma_d^2$$

Esto debido a que durante el lead time, la demanda total es la suma de las demandas diarias, y la varianza de la suma de variables aleatorias independientes es la suma de sus varianzas. Luego, como la demanda diaria tiene una varianza de  $\sigma_d^2$ , la varianza acumulada durante el lead time será de  $L * \sigma_d^2$ .

3 puntos por la explicación y la expresión de la varianza

- ii) La varianza de la demanda durante el lead time se puede obtener como:

$$Var_{LT} = Var(dL) = d^2 Var(L) = d^2 \sigma_L^2$$

Esto, dado que como la demanda diaria es constante solo se considera la variabilidad en el leadtime.

2 puntos por la expresión y explicación.

---

Parte 3 (25 pts)

- (a) A usted le piden que construya un modelo de pronóstico para predecir la demanda de un cierto producto para el próximo período (cuarto período). Dada la experiencia pasada, se recomienda que el modelo sea uno de atenuación exponencial. Los datos históricos (primeros tres períodos) para ajustar el modelo son los siguientes: La demanda real fue de 1 unidad para el primer período, de 3 unidades para el segundo período, y de 4 unidades para el tercer período. Además, el pronóstico que se tuvo para el primer período fue de 0 unidades. Encuentre el factor de atenuación que minimice el error absoluto medio, y realice el pronóstico para el cuarto periodo. Justifique muy bien su respuesta. (10p)

T	$A_t$	$F_t$
1	1	0
2	3	$\alpha$
3	4	$4\alpha - \alpha^2$
4		-

A partir de la definición del error medio absoluto, se desea minimizar:

$$\frac{|1| + |3 - \alpha| + |4 - (4\alpha - \alpha^2)|}{3}$$

Derivando con respecto a  $\alpha$  e igualando a 0, se obtiene que  $\alpha^* = 2.5$ , por lo que el óptimo es 1. Así, el pronóstico para el cuarto periodo es 4.

Debe justificar bien este procedimiento. No hay puntaje por poner los resultados sin justificación.

2.5 puntos por obtener explícitamente la función MAD a minimizar.

2.5 puntos por obtener el pronóstico para el cuarto periodo a partir del factor de atenuación.

5 puntos por identificar la función MAD a minimizar y obtener  $\alpha^*$ .

5 puntos por ajustar el factor de atenuación a 1 a partir de  $\alpha^*$  y obtener secuencialmente el pronóstico para el cuarto periodo.

- (b) En el análisis del caso Transportation National Group vimos que los consultores de IDX se fueron con la tarea de buscar elementos cuantitativos que justifiquen la implementación de *revenue management* en TNG, para lo cual se planteó un modelo de optimización. Explique el modelo y cómo este aportó en la discusión. (10p)

El modelo planteado es el siguiente: Un modelo lineal que maximiza los ingresos totales, esto sujeto a la demanda de cada semana y su clase, la capacidad y la no negatividad. Se tiene a  $X_d^w$  como el número de camiones a arrendar en la semana  $w$  con duración  $d$ .

$$\begin{aligned}
&\text{Max. } \sum_d d \cdot P_d^w \cdot X_d^w \rightarrow \text{Ingresos} \\
&\text{s.a. } X_d^w \leq D_d^w \rightarrow \text{Demanda} \\
&\quad \sum_d X_d^w \leq I^w \rightarrow \text{Capacidad} \\
&I^w = I^{w-1} - X^{w-1} + R^w \rightarrow \text{Flujo de inventario} \\
&X_d^w \geq 0 \rightarrow \text{No negatividad}
\end{aligned}$$

Lo que aportó el modelo y que podría justificar la implementación de revenue management fue:

1) Permite hacer una mejor asignación del inventario disponible cada semana entre cada uno de los cuatro productos que ofrece TNG. Se evidencio un incremento del 3,58% en utilidades, además de otro aumento de un 3,28% en el ROI, ambos indicadores con mucha relevancia en TNG.

2) Además, a partir de la restricción de capacidad, su precio sombra se toma como el mínimo precio al cual se debe arrendar un camión, por lo que así se resuelve el problema de encontrar el mínimo precio al cual se debe arrendar un camión en la semana w, y de hecho el caso muestra algunas semanas en que se estaba arrendando camiones por debajo del precio sombra.

2.5 puntos por explicar parcialmente el modelo.

2.5 puntos por explicar 1 de los dos puntos que aportó el modelo a la discusión.

5 puntos por explicar detalladamente el modelo.

5 puntos por explicar lo que aportó el modelo a la discusión sobre la implementación de Revenue Management.

(c) **Explique de qué manera la empresa TNG posee las características que la convierten en una buena alternativa para aplicar técnicas de *revenue management*. (5p)**

La empresa TNG posee las siguientes características que le permiten ser una buena alternativa para aplicar Revenue Management:

- Poseen una capacidad relativamente fija, varía un poco entre el stock de locales.
- Poseen un activo perecible, ya que, si el camión no se arrienda esta semana, se pierde la semana de arriendo de este.
- Demanda variable, por estacionalidad y ubicación geográfica.
- Mercado segmentable con distintos tipos de cliente.
- Altos costos fijos y bajos costos variables (alto costo de inversión en comparación a los costos operaciones).
- Tienen poder de mercado, en momentos en que la demanda está en su peak, puede cambiar su precio y elegir a los clientes más valiosos.

5 puntos por nombrar 6 características.

4 puntos por nombrar 5 características.

3 puntos por nombrar 4 características.

2 puntos por nombrar 3 características.

1 punto por nombrar 2 características.

---

#### Parte 4 (25 pts)

- (a) Respecto al caso UHS, en el cual se implementó un sistema de clasificación (triage) en la clínica ambulatoria, ¿qué pasó con el tiempo total de atención en la clínica respecto a antes de esta implementación, y qué impacto tuvo en los pacientes? (8p)

Antes del sistema de triage, los pacientes estaban dentro del sistema clínico durante **55.19 minutos en promedio**, tiempo utilizado mayoritariamente en esperar por atención médica. Luego, se implementó el sistema de clasificación, el cual, **si bien aumentó el tiempo de espera hasta ser asignado a una enfermera o un médico, logró disminuir el tiempo de espera para ser atendido por el primer especialista médico, la enfermera de triage**, disminuyendo así la sensación de espera, ya que el paciente siente desde ese momento que ya empezó su atención.

Además, disminuyó levemente el tiempo total para ser atendido por el especialista médico si es necesario, ya que no tienen que pasar todos antes por la evaluación de una enfermera.

Este sistema impacta positivamente a los pacientes ya que también permite que los pacientes sean atendidos, en su mayoría, directamente por la persona que los enviará a su casa, sin tener que ser transferidos de una enfermera a un médico. A su vez, **aquellos pacientes que tienen alguna afección más grave serían atendidos de forma más rápida y fácil**, ya que no todos los pacientes hacen la misma fila, sino que hay una para las enfermeras practicantes y otra para los médicos.

1 punto por mencionar algo que demuestre que se leyeron el caso

3 puntos por la explicación de que sucede con el tiempo total de atención en la clínica.

4 puntos por la explicación del impacto en los pacientes graves.

- (b) Considere un sistema de espera estable de canal simple y de una fase con tasa de llegada  $\lambda$  y tasa de servicio  $\mu$ . Sea  $L_S$  el número promedio de personas que están en el sistema (cola y servidor), y  $L_Q$  el número promedio de personas que están en la cola. Calcule la diferencia  $L_S - L_Q$  en función de los parámetros del sistema. (4p)

Mediante el modelo M/M/1, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$L_S = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad \text{y} \quad L_Q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

Luego, al restarlos, se obtiene  $L_S - L_Q = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho$

- (c) “En los sistemas de espera existe una fuerte no linealidad entre dos medidas de desempeño”. Indique cuáles son esas medidas de desempeño y explique esa no linealidad. (3p)

- Utilización de capacidad ( $\rho$ ): Es la fracción del tiempo que el servidor está ocupado. En un sistema M/M/1, la utilización se define como  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ , donde  $\lambda$  es la tasa de llegada y  $\mu$  es la tasa de servicio.
- Tiempo de espera promedio ( $W$ )

La no linealidad se manifiesta principalmente en la relación entre la utilización del sistema y el número promedio de clientes en el sistema o en la cola. Esta relación es no lineal debido



a que un **pequeño incremento en la utilización, cuando el sistema está cerca de su capacidad máxima, puede causar un gran aumento en el tiempo de espera promedio.**

1.5 puntos por mencionar cuáles son las medidas de desempeño aludidas.

1.5 puntos por la explicación de la no linealidad.

- (d) Suponga una empresa que produce  $M$  tipos de productos distintos. La productividad, en unidades, de cada trabajador es  $p_m$  para cada producto. Para cada período ( $t$ ), la demanda de cada producto es  $d_{mt}$ .

La empresa puede mantener inventario en una bodega con capacidad máxima de  $N$   $\text{mt}^3$  y cada producto ocupa un volumen  $v_m$   $\text{mt}^3$ . El costo de inventario es  $h_m$  por período para cada producto. La dotación inicial de trabajadores es  $T$  y el inventario inicial disponible es  $I_0$  para cada producto.

Algunas políticas de la empresa son:

- No se puede dejar demanda insatisfecha.
- No se permite usar subcontratación ni horas extras.
- Se puede ajustar la dotación de personas período a período, contratando o despidiendo a trabajadores. El costo mensual por cada trabajador es  $f$ , el costo de contratación de  $C$  y el de despido es  $D$ .

Formule el problema de optimización para una planificación de la producción de mínimo costo en el cual defina claramente las variables de decisión, función objetivo y restricciones. (10)

### Variables de Decisión

$x_{mt}$  : Cantidad de producto  $m$  producido en el período  $t$ .

$I_{mt}$  : Inventario del producto  $m$  al final del período  $t$ .

$T_t$  : Número de trabajadores en el período  $t$ .

$H_t$  : Número de contrataciones en el período  $t$ .

$F_t$  : Número de despidos en el período  $t$ .

### Función Objetivo

Minimizar el costo total que incluye el costo del inventario, el costo de los trabajadores, el costo de contratación y el costo de despido. La función objetivo es:

$$\text{Minimizar } \sum_t (\sum_m h_m \cdot I_{m,t} + f \cdot T_t + C \cdot H_t + D \cdot F_t)$$

### Restricciones

Satisfacción de la demanda: La demanda de cada producto en cada período debe ser satisfecha.

$$x_{mt} + I_{m,t-1} - I_{mt} = d_{mt} \quad \forall m, t$$

Capacidad de producción: La producción no puede exceder la capacidad de los trabajadores(\*).

$$\sum_m x_{mt} / p_m \leq T_t \quad \forall t$$

Capacidad del inventario: El inventario total no debe exceder la capacidad máxima de la bodega.

$$\sum_m v_m \cdot I_{mt} \leq N \quad \forall t$$

Balance de trabajadores: El número de trabajadores en cada período depende de la dotación inicial, las contrataciones y los despidos.

$$T_t = T_{t-1} + H_t - F_t \quad \forall t$$

Naturaleza de las variables: Todas las variables deben ser no negativas y enteras.

$$x_{mt}, I_{mt}, T_t, H_t, F_t \geq 0 \text{ y enteros} \quad \forall m, t$$

Inventario inicial: Se debe considerar el inventario inicial disponible para cada producto.

$$I_{m0} = I_0 \quad \forall m, t$$

(\*) La expresión es considerando que la capacidad es por trabajador si exclusivamente hiciera el producto m.

En caso de suponer que cada trabajador puede producir de los m productos, de cada uno  $p_m$  en un período de tiempo, entonces la restricción sería:

$$x_m \leq p_m \cdot T_t \quad \forall t, m$$

4 puntos por la función objetivo (1 punto por cada expresión de costo)

1 puntos por cada restricción

