



Pontificia Universidad Católica de Chile  
Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas

## Interrogación 3

ICS 3213 Gestión de Operaciones  
Sección 1 y Sección 2 – 2º semestre 2015  
Prof. Alejandro Mac Cawley  
Prof. Fernando Tagle

### Instrucciones:

- Poner nombre y número a todas y cada una de las hojas del cuadernillo.
- No descorchetear el cuadernillo en ningún momento durante la prueba.
- La prueba consta de 4 secciones. Debe contestar cada una de las preguntas en el espacio asignado.
- No se permiten resúmenes de clases, ni de casos, ni formularios.
- Se descontará 10 puntos por no cumplir alguna de estas instrucciones.
- La prueba tiene **120 + 10 puntos y dura 120 minutos**.
- No se pueden utilizar laptops ni celulares.
- Se leerá la prueba al comienzo de clases y después se permitirán preguntas en voz alta. Posteriormente en la mitad de la prueba se volverá a permitir preguntas en voz alta. No se permitirán preguntas fuera de estos intervalos. Si su duda persiste indique el supuesto y continúe.
- Este curso adscribe el Código de Honor establecido por la Escuela de Ingeniería el que es vinculante. Todo trabajo evaluado en este curso debe ser propio. En caso de que exista colaboración permitida con otros estudiantes, el trabajo deberá referenciar y atribuir correctamente dicha contribución a quien corresponda. Como estudiante es su deber conocer la versión en línea del Código de Honor (<http://ing.puc.cl/codigodehonor>).

---

Firma Alumno

¡Muy Buena Suerte!

**PARTE I. (20 puntos) Sección verdadero o falso. Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F). En caso de ser falsas, indique la razón.**

1. En una bodega que tiene igual espacio de áreas de temperatura ambiente y temperatura controlada, debemos dedicar más esfuerzo en optimizar el uso del espacio en el área de temperatura controlada.

Verdadero.

2. En el juego de la cerveza, el minorista puede observar cambios en los volúmenes de recepción de sus pedidos después de 4 semanas o ciclos.

Falso, deben pasar 12 semanas o ciclos para que el minorista logre reaccionar a posibles cambios en la demanda.

3. Al reducir la rotación de inventarios de 7 a 5 veces por año, manteniendo la demanda, se necesita menos espacio de almacenamiento en la bodega.

Falso, de acuerdo al modelo de fluido en una bodega al reducir la rotación de inventario se requiere un mayor espacio de almacenamiento.

4. Un enfoque Six Sigma ataca la variabilidad del sistema disminuyendo la cantidad de procesos involucrados.

Falso, este tipo de enfoque corresponde al tipo Lean o el enfoque de Six Sigma busca disminuir la ocurrencia de problemas.

5. Para optimizar el área de reserva, se debe aumentar la altura de los racks a la máxima carga que estos puedan resistir.

Falso, al aumentar la altura en la que se localizan los SKU también aumenta el tiempo requerido para colocar y buscar los productos. Por lo que es necesario evaluar el trade-off entre eficiencia en uso del espacio y tiempo requerido en recuperar el producto.

6. Para decidir la localización de un centro de distribución primero debo fijarme en las variables competitivas del lugar y luego las técnicas.

Falso, en primer lugar debo acotar el lugar de localización en base a las variables técnicas del lugar que le darán factibilidad a los sistemas productivos. En segundo lugar, se decidirá la ubicación en base a las características competitivas.

7. A medida que las instalaciones para procesos productivos se encuentran más cercanos al cliente los costos totales aumentan.

Falso, se deben analizar los costos fijos y variables del lugar. Los costos fijos aumentan en general cuando estoy más cerca del cliente. Sin embargo, los costos variables (por ejemplo de transporte) disminuyen cuando estoy más cerca del cliente.

8. El disminuir la capacidad de apilar los pallets en una bodega a piso, conlleva a aumentar la profundidad óptima de la bodega.

Verdadero.

9. A las empresas siempre les será eficiente tener un centro de distribución, debido a los beneficios que éstos generan en los costos logísticos.

Falso, puede que los beneficios logísticos generados no sean lo suficientemente grandes como para cubrir los costos de inversión, contratación de mano de obra, etc.

10. El beneficio asociado a la implementación del JITD por Barilla Spa se debió a la reducción en los costos de transporte y servicio al cliente.

Falso, también hubo beneficios asociados s reducción en los costos de producción.

**PARTE II (20 puntos) Responda cada una de las siguientes preguntas relacionadas con el libro “La Meta”.**

1) (7 ptos) Una vez que la empresa aumentó su productividad, cumplió con las órdenes a tiempo y disminuyó su inventario; el costo por unidad producida aumentó. ¿Cuál fue la explicación que Lou le dio a Alex de lo sucedido? ¿Qué se hizo para mejorar esta situación?

La explicación dada por Lou fue que el problema se generó debido a que la empresa disminuyó su inventario y además, la cantidad de productos que se quedaban atascados en las líneas de producción. Por este motivo, el costo unitario por producto aumentó al ser dividido el costo total en un número menor de productos. Esto es únicamente un problema de contabilidad, ya que, después de la mejora se produce un menor número de productos que posteriormente se transforman en throughput, es decir, en ventas.

Para mejorar la situación se consideró el costo total y no el costo unitario.

2) (7 ptos) En la reunión de Alex con su equipo, buscaban resumir la forma de dirigir la empresa a través de 5 pasos claros. ¿Cuáles son estos cinco pasos? ¿Cuáles son los tres parámetros que escribe Lou en la pizarra al iniciar la reunión? ¿Cuál es el objetivo para cada uno de estos parámetros?

Los cinco pasos son

- a. Identificar los cuellos de botella
- b. Decidir cómo explotar estos cuellos
- c. Subordinar todo el proceso productivo al cuello de botella
- d. Elevar los cuellos de botella del sistema
- e. Si en los pasos anteriores el cuello de botella ha sido superado o se ha generado otro, volver al punto 1.

Los tres parámetros que escribe Lou en la pizarra son: Throughput, inventario y costo operativo.  
Los objetivos son: maximizar el Throughput, minimizar el inventario y disminuir el costo operativo.

3) (6 ptos) Explique cuál fue el problema que se generó con las etiquetas verdes y rojas creadas por Stacey. ¿Dónde se generaba el problema? ¿Cuál fue la solución?

El problema fue que las máquinas encargadas de proveer al cuello de botella (Capacity Constrained Resources) se encargaban exclusivamente de las etiquetas rojas, dejando los productos de etiqueta verde para después. Esto repercutió en el buffer de ensamblado, ya que, no llegaban las piezas verdes necesarias para terminar los productos, ocasionando el retraso de los pedidos.  
La solución dada por Stacey fue eliminar las etiquetas y que en los procesos previos del cuello de botella se trabajara con el método FIFO, es decir, trabajaban por orden de llegada y no seleccionando importancia por etiqueta.

**PARTE IV (80 Puntos): Ejercicios. Responda las siguientes 2 Preguntas**

1.- (50 Puntos) Una empresa de pastas llamada Barilla SPA cuenta con 3 plantas de producción de tallarines que actualmente despachan a 3 supermercados mayoristas. Sin embargo, el directorio se dio cuenta que lo ideal sería construir un Centro de Distribución de modo de poder satisfacer mejor los requerimientos de los supermercados mayoristas que abastece. Para esto, lo contratan a usted para que decida la ubicación y el funcionamiento del Centro de Distribución en cuestión. Su nueva secretaria le indica la información correspondiente al número de unidades transportadas de cada instalación, al igual que los costos unitarios y las coordenadas de estos:

Instalación	Unidades	Costo/Unidad	Coordenada X	Coordenada Y
Planta 1	68	20	250	540
Planta 2	72	34	820	450
Planta 3	135	13	340	730
Supermercado 1	97	19	120	910
Supermercado 2	87	16	760	50
Supermercado 3	91	24	420	240

- a) (5 ptos) Se le pide determinar las coordenadas de este Centro de Distribución, mediante el método del centro de gravedad con costos.
- b) (10 ptos) El directorio de la compañía le informa que ya definió la ubicación del centro de distribución(X:537 , Y:479), y que también apareció un nuevo supermercado mayorista interesado en recibir las deliciosas pastas de la compañía. Este nuevo cliente se ubica en (X:620 , Y:430), y será abastecido gracias a un aumento de capacidad de la planta 2, el que tendrá un costo de 18 \$/unidad. Se le pide determinar la cantidad de unidades que se le despacharan al nuevo supermercado considerando que no debe variar la ubicación del nuevo centro de distribución.
- c) (8 ptos) Tal como se indicó en el punto anterior, ya se definió la ubicación del Centro de Distribución, pero es necesario definir la empresa subcontratada que se encargará del movimiento de productos al interior de esta instalación. Se tienen 4 opciones y se sabe que cada empresa cobra un monto fijo más un monto variable de acuerdo al volumen de ventas. Grafique las curvas de costos totales para las tres alternativas e indique bajo que rango de ventas es más atractiva cada opción. ¿Qué alternativa es la más adecuada para los siguientes volúmenes de ventas: 500 unidades, 1.500 unidades, 3.000 unidades, 4.500 unidades?

Opción	Costos Fijos	Costos Variables
A	25.000	20
B	12.500	33
C	13.000	35
D	60.000	10

d) (8 ptos) Para la operación del centro de distribución, suponga que le toma 1,2 minutos hacer el pick en la zona frontal y 1,6 minutos hacer el pick en la zona de reserva. Se decide que se podrán hacer picks de cajas y pallets completos en la zona frontal. Por otro lado, la reposición toma 3,5 minutos y cada posición tiene una profundidad de 3 pallets. Calcule los beneficios, ranking y ubicaciones de cada SKU. Considere que sólo dispone de 8 posiciones para pick.

SKU	Picks	Demanda (pallets)	Demanda Pallets Completos	#Min (pallet)	#Max (pallets)
A	250	24	14	4	22
B	70	6	18	1	8
C	147	13	24	2	13
D	93	21	4	5	25

e) Usted desea diseñar una bodega con pallets a piso para los SKU dispuestos en la siguiente tabla. La bodega recibirá pallets de 1,3m x 1,1m, los que se ubican de modo que la cara más angosta de hacia el pasillo, el que se encuentra a un solo lado y tiene un ancho de 5 metros. A partir de lo anterior, usted necesita determinar la profundidad óptima. La cantidad ordenada, y la altura máxima de apilado se muestran a continuación:

SKU	Cantidad Ordenada (Pallets)	Altura
E	29	4
F	13	7
G	7	4
H	15	2

- i) (4 ptos) Calcule la profundidad óptima para cada SKU.
- ii) (4 ptos) Calcule la profundidad óptima global.
- iii) (3 ptos) Construya un gráfico para las profundidades calculadas, donde el eje *x* será el SKU y el eje *y* será la profundidad.
- iv) (8 ptos) Determine la configuración óptima de la bodega de modo de optimizar el uso del espacio.

Respuesta Parte IV Pregunta 1

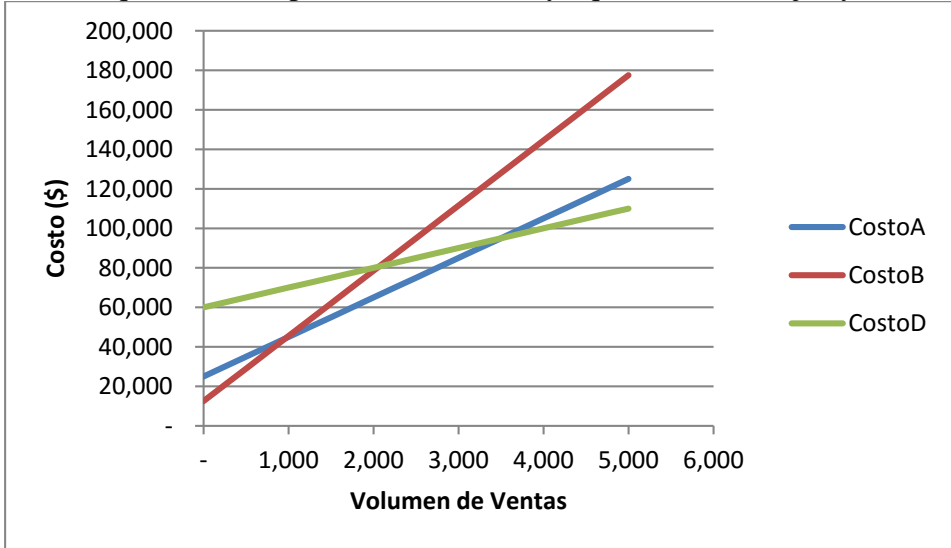
a)  
Utilizando el método solicitado:

$$C_x = \frac{\sum Costo * Unidades * CoordenadaX}{\sum Costo * Unidades} = \frac{5.140.420}{10.982} = 468$$
$$C_y = \frac{\sum Costo * Unidades * CoordenadaY}{\sum Costo * Unidades} = \frac{5.388.040}{10.982} = 491$$

b)  
Se puede usar cualquiera de las dos ecuaciones para llegar a que Z= 68 unidades

$$C_x = \frac{5.140.420 + 18 * z * 620 + 34 * z * 820}{10.982 + 18 * z + 34 * z} = 537$$
$$C_y = \frac{5.388.040 + 18 * z * 430 + 34 * z * 450}{10.982 + 18 * z + 34 * z} = 479$$

c)  
Primero que nada, la opción C se descarta ya que sus costos fijos y variables son más altos que los de B.



Se buscan los puntos que corresponden a la intersección del Costo A con Costo B, y costo A con Costo D, de modo de definir los rangos solicitados.

Si  $x \leq 962$ , conviene B

Si  $962 < x \leq 3500$  conviene A  
Si  $x > 3500$  conviene D

La alternativa más adecuada para cada valor es:

Ventas	Opción	Costo (\$)
500	B	29.000
1.500	A	55.000
3.000	A	85.000
4.500	D	105.000

d)  
Primero se actualizan los  $U_i$  y los  $L_i$  de acuerdo a la profundidad de pallets.

SKU	$L_i$	$U_i$
A	2	8
B	1	3
C	1	5
D	2	9

Luego, se calculan los beneficios máximo, mínimo y adicional para cada SKU con las fórmulas entregadas en el formulario.

SKU/Beneficio	Mínimo	Máximo	Adicional
A	108,0	39,6	16,8
B	63,0	35,2	21,3
C	130,9	41,0	18,6
D	19,1	12,9	11,2

Finalmente, se ordenan por beneficio máximo, donde para cada SKU solo puede estar el máximo o el mínimo y el adicional. Para definir las ubicaciones si es un mínimo es L, si es un máximo es U y si es un adicional es L-U.

Ranking	SKU	Beneficio	Ubicaciones
1	C-mínimo	130,9	1
2	A- mínimo	108	2
3	B- mínimo	63	1
4	B-adicional	21,3	2
5	D- mínimo	19,1	2
6	C-adicional	18,6	4
7	A-adicional	16,8	6
8	D-adicional	11,2	7

e)

$$a = \frac{AnchoPasillo}{LargoPallet} = \frac{5}{1,3} = 3,85$$

$$Prof_i = \sqrt{\frac{a}{2} * \frac{q_i}{z_i}}$$

$$Prof_{Global} = \sqrt{\frac{a}{2} * \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{z_i}}$$

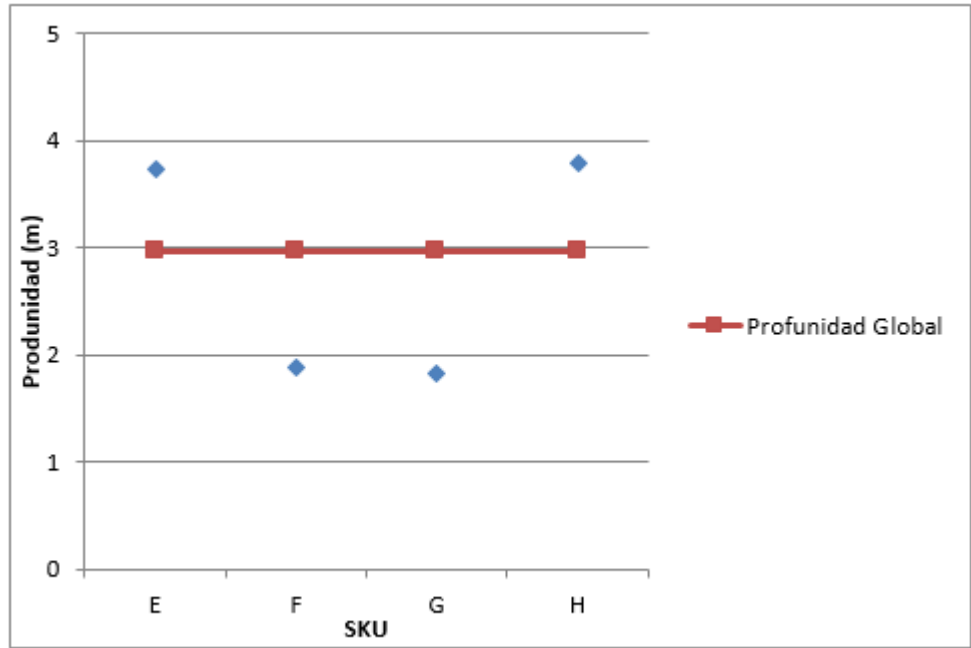
i)

SKU	Profundidad (m)
E	3,7
F	1,9
G	1,8
H	3,8

ii)

Profundidad óptima global = 2,97m

iii)



iv)

Al analizar el gráfico, es fácil ver que al buscar la profundidad óptima global, en realidad no se está obteniendo el mejor diseño de la bodega, ya que existen *clusters* o conjuntos muy similares que pueden ser agrupados entre ellos para buscar una profundidad realmente óptima, en lugar de buscar una profundidad óptima general.

Gráficamente, se tiene lo siguiente:

Caso Base:

E	4	4	4	4	Pasillo
	4	4	4	1	
F	7	6			
G	4	3			
H	2	2	2	2	
	2	2	2	1	

Área = (1,1 x 4) x (1,3x6 + 5) = 67,32 m2

Caso Profundidad Óptima Global:



E	4	4	4	Pasillo
	4	4	4	
	4	1		
F	7	6		
G	4	3		
H	2	2	2	
	2	2	2	
	2	1		

Área = (1,1 x 8) x (1,3x3 + 5) = 78,32 m2

Caso Profundidad Óptima por *Clusters*:

F	7	6	Pasillo	4	4	4	4	E
G	4	3		1	4	4	4	
				1	2	2	2	H
				2	2	2	2	

Área = (1,1 x 4) x (1,3x6 + 5) = 56,32 m2

Claramente cuando se busca la profundidad óptima al agrupar por *clusters* se obtiene una utilización del espacio más eficiente.

**Pregunta 2.-** (30 Puntos)

Usted es dueño de una tienda de helados tiene 1 sola caja para atender a sus clientes. Considere que los clientes llegan con una tasa de llegada de  $\lambda$  [clientes/min], que se distribuye en forma general G y son atendidos a una tasa  $\mu$  [clientes/min] que también distribuyen en forma general. Usted mide el tiempo medio de espera, siendo este de  $T_e$  minutos, el coeficiente de variabilidad del tiempo promedio de llegadas de personas siendo este  $C_a$  y también mide el coeficiente de variabilidad del tiempo efectivo de la atención siendo este  $C_e$ .

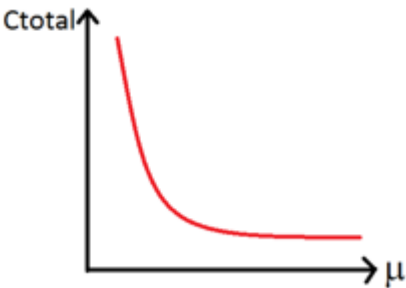
Usted se encuentra muy preocupado por el servicio al cliente de su heladería y determina que existe un costo por el tiempo que espera de los clientes en la cola de  $C_q$  [\$/min] peso por minuto en la cola. Es posible aumentar la tasa de atención de clientes de la caja a un costo  $C_k$  [\$/clientes/min] lo que claramente aumentaría el nivel de servicio de la heladería.

- a) (4 pts) Grafique cómo varía el costo de espera de los clientes en la cola, el costo de operación de la caja y el costo total; versus la tasa de atención a clientes ( $\mu$ ) (realice un gráfico para cada caso).
- b) (10 Ptos) Escriba el modelo de programación matemática que debiera resolver el gerente de la heladería. (Hint: Determine la variable de decisión y plantee la función objetivo)
- c) (6 pts) Resuelva el problema anterior y plantee la forma funcional que me permita obtener el óptimo. Sólo plantee la formula funcional y el mecanismo para obtener el óptimo.
- d) (10 pts) Suponga que desea establecer un tiempo promedio máximo de espera de sus clientes de T minutos en la fila. Plantee el problema de programación matemática que le permite resolver este problema y cómo resolvería este problema.

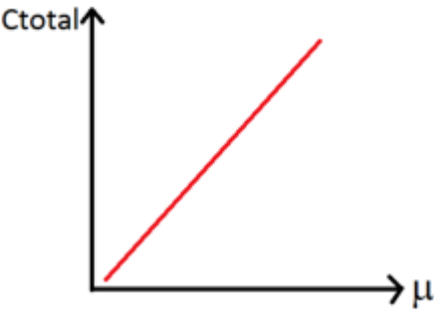
Respuesta de la Parte IV Pregunta 2:

**a)**

Al aumentar la tasa de atención de clientes, el costo por espera en la cola del cliente irá disminuyendo de forma cuadrática, debido a cómo se compone el tiempo de espera de la cola según la ecuación de Kingman. De esta forma, el gráfico queda como sigue:



Por otro lado, el costo por capacidad se mueve de forma lineal a la tasa de atención, por lo que el gráfico queda como sigue:



**b)**

Se pide escribir la función objetivo, dado que no existen restricciones al problema. El gerente debiera buscar minimizar el costo total, el que se compone de la siguiente forma:

$$C_{total} = C_q * CT_q + C_k * \mu$$

Por otro lado, el tiempo de espera en la cola se calcula según la fórmula de Kingman, que es:

$$CT_q = \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda/\mu}{1 - \lambda/\mu} \right) T_e$$

De esta forma, la función objetivo es:

$$MIN \quad \left[ C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda/\mu}{1 - \lambda/\mu} \right) T_e + C_k * \mu \right]$$

c)  
Para determinar la tasa de atención óptima, se debe derivar la expresión anterior e igualar a 0. Al hacer esto, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{d}{dx} \left[ C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda/\mu}{1 - \lambda/\mu} \right) T_e + C_k * \mu \right] = 0$$

Reordenando, tenemos:

$$\frac{d}{dx} \left[ C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \right) T_e + C_k * \mu \right] = 0$$

$$C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) T_e \left[ \left( \frac{-\lambda}{(\mu - \lambda)^2} \right) \right] + C_k = 0$$

$$\lambda * C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) T_e = C_k (\mu - \lambda)^2$$

$$\mu = \lambda \mp \sqrt{\frac{\lambda * C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) T_e}{C_k}}$$

Despejando  $\mu$  de la expresión anterior, se obtiene la tasa de atención óptima.

d)

$$MIN \quad \left[ C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda/\mu}{1 - \lambda/\mu} \right) T_e + C_k * \mu \right]$$

$$\begin{matrix} S/A \\ T_e \leq T \end{matrix}$$

En este caso, la ecuación de Kingman quedaría como sigue:

$$\left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda/\mu}{1 - \lambda/\mu} \right) T$$

Al igual que antes, se debe encontrar la tasa de atención óptima que cumpla con esta restricción, que se obtendría como sigue:

$$MIN \quad \left[ C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{\lambda/\mu}{1 - \lambda/\mu} \right) T_e + C_k * \mu \right] + \lambda (T - T_e)$$

Como la optimalidad se encuentra igualando a T derivando con respecto a  $\mu$  e igualando a 0 se obtiene:

$$C_q * \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left[ \left( \frac{-\lambda}{(\mu - \lambda)^2} \right) T \right] + C_k = 0$$

De donde se podría obtener el valor de  $\mu$ .



**Pregunta BONO. (10 ptos) Debe estar completamente buena para obtener el puntaje completo.**

Demuestre que para una asignación de espacio compartido, en una bodega dividida en  $k$  unidades de igual espacio, el nivel de utilización del espacio es  $k/k + 1$

Respuesta Bono:

**Formulario**

$P = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)\left(\frac{q}{z}\right)}$ $P = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)\left(\frac{1}{n}\right)\left(\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{z_i}\right)}$	$ef = \frac{k}{k + 1}$
$Ben = sp_i - c_r d_i$	$Ben = s(p_i + D_i)$
$Beneficio_{min\_A} = \frac{s * p_i - c_r * d_i}{l_i}$	$Restocks = \frac{f_i}{V_i} \text{ Restocks/tiempo}$
$Beneficio_{adic\_A} = \frac{s * D_i + c_r * d_i}{u_i - l_i}$	$\text{Costo Total} = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable} \times \text{Volumen}$
$v_i^* = \left( \frac{\sqrt{f_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{f_j}} \right) \vee$	$\frac{p_i}{\sqrt{f_i}}$
$C_x = \frac{\sum d_{ix} V_i}{\sum V_i}$	$C_y = \frac{\sum d_{iy} V_i}{\sum V_i}$
$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$
$L = \lambda \times W$	$c_T = \frac{\sigma}{t} = \frac{\sqrt{\text{Var}(T)}}{E(T)}$
$L = \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad W = \frac{1}{\mu(1 - \rho)}$	$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}, \quad W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$
$WIP = TH \times TC$	$L = \lambda * W$
$A = \frac{m_f}{m_r + m_f}$	$t_e = \frac{t_o}{A}$
$\sigma^2_e = \left(\frac{\sigma^2_o}{A}\right) + \frac{(m_r + \sigma^2_r)(1 - A)t_o}{Am_r}$	
$c^2_e = \frac{\sigma^2_e}{t_e^2} = c^2_o + (1 + c^2_r)A(1 - A)\frac{m_r}{t_o}$	
$t_e = t_o + \frac{t_s}{N_s}$	$\sigma^2_e = \sigma^2_o + \frac{\sigma^2_s}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s^2} t_s^2$
$c^2_e = \frac{\sigma^2_e}{t_e^2}$	
$(c_s)^2 \approx \rho^2 (c_e)^2 + (1 - \rho^2) (c_a)^2$	$CT_q = \underbrace{\left(\frac{C_a^2 + C_e^2}{2}\right)}_{\hat{V}} \underbrace{\left(\frac{\rho}{1 - \rho}\right)}_{\hat{U}} \underbrace{t_e}_{\hat{T}}$
$L = \frac{\rho}{1 - \rho} - \frac{(b + 1)\rho^{b+1}}{1 - \rho^{b+1}}$	$\lambda' = \lambda \left( \frac{1 - \rho^b}{1 - \rho^{b+1}} \right)$
$L_q = \frac{\rho}{1 - \rho} \times Prob(N > c)$	$W_q = \frac{\rho}{\lambda(1 - \rho)} \times Prob(N > c)$