



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

Interrogación 3

Pauta

ICS 3213 Gestión de Operaciones
Sección 1 y Sección 2 – 1^{er} semestre 2016
Prof. Alejandro Mac Cawley
Prof. Isabel Alarcón

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 3 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 110 puntos y dura 110 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. Una bodega bajo un esquema de asignación de espacio dedicada u organizada tiene una utilización levemente superior al 50%.

Falso, Una asignación dedicada tiene siempre una eficiencia del 50%.

2. En una zona de pickeo rápido se recomienda tener todos los SKU de alta rotación.

Falso, se recomienda aquellos convenientes; los SKU de alta rotación pero con pickeos voluminosos respecto del tamaño de pallet es mejor tenerlos en ubicaciones especiales separadas.

3. La externalización de actividades de bodega es conveniente cuando el mercado es inestable en su demanda y los requerimientos del cliente no son exigentes en cuanto a las entregas.

Verdadero

4. Si usted tiene dos máquinas M1: $t_o=1.2$ hrs. $c_o=0.5$. y M2: $t_o=1.0$ hrs. $c_o=0.25$. M1 es una maquina flexible que no tiene tiempos de setup y M2 tiene un tiempo de setup de 1 hrs. cada 5 unidades con $C_s=0.25$. Prefiere la máquina 2.

Verdadero.

5. La propagación de la variabilidad en los procesos productivos no se ve afectada por la utilización del mismo.

Falso. La variabilidad se propaga en un sistema siempre que no encuentre un buffer, o capacidad extra que la contenga en alguna parte del proceso; una utilización elevada, no lo permite, por lo que efectivamente si se ve afectada la propagación por el nivel de utilizacion

6. La calidad robusta reconoce que la definición de un standard de calidad es continua.

Verdadera

7. Al aplicar Six Sigma, primero nos enfocamos en reducir la variabilidad y posteriormente en mejorar el promedio.

Verdadero

8. En el SodaPop Game las decisiones que se debían tomar eran solo: cantidad a ordenar, punto de re-orden, compra de maquinarias y apagado o encendido de las mismas.

Falso, se debe también aceptar o rechazar los contratos que se ofrecen

9. La motivación principal del Heijunka es el mejoramiento de la calidad.

Falso, tiene como motivación equilibrar los tama;os de lotes producidos y las condiciones de proceso para aumentar la frecuencia de producción y disminuir lotes e inventarios

10. El andón es la forma que tiene el sistema productivo de Toyota de encontrar a la persona responsable del problema de calidad.

Falso, es el una forma que toma el sistema a fin de avisar de una falla y poder solucionarlo.

Modo de Correccion:

- Verdadero: 2 ptos, sin justificación
- Falso: 0.5 ptos por acertar el falso + 1.5 ptos si la explicación es completamente buena. Solo puntos por justificaciones precisas.

PARTE II (20 puntos) Responda las siguientes tres preguntas relacionadas con el libro “La Meta”.

a) (7 puntos) Jonah conversó con Alex sobre el tiempo que pasa una pieza o material dentro de la planta. Posteriormente Alex con su equipo analiza la situación, y se dan cuenta que las demoras o tiempos excesivos de las piezas se deben a que usan la fórmula del Lote Económico de Producción. ¿Qué relación tiene el lote económico de producción con las demoras? (2,5 pts) ¿Qué solución proponen? (2,5 pts) ¿Cuál es el efecto que tiene la solución sobre los tiempos del proceso? (2 pts)

Un LEP puede acarrear un uso de la línea mayor al requerido, únicamente porque se debe producir para alcanzar el valor indicado y no porque sea conveniente desde el punto de vista del uso de la línea. Esto tiene varios efectos: la ocupación de los cuellos de botella aumenta, aun cuando el tiempo dedicado no se va a transformar en circulante, dado el efecto de inventario, y consecuentemente quita tiempo y recursos para productos alternativos que son demandados.

Al tener LEP grandes las demoras en entregas aumenta, dado que el turno de ingreso en producción es mas espaciado, quitando velocidad de reacción a la línea.

Una solución es la de disminuir el tamaño de lotes de manera de que los tiempos de producción dedicada sean menores, y se pueda disponer de la línea mas frecuentemente para poder hacer otros mix. Esto disminuye el peso del tiempo que permanece en inventario parte del lote producido, dado que apunta a fabricar-entregar, pasando a ser los tiempos de transformación (que agregan valor) los de peso en el proceso.

b) (7 puntos) Alex se junta con Lou el contador de la empresa. Conversando acerca de la contabilidad de la empresa, le dice: “¿Me quieres decir que vamos a ser penalizados por hacer lo correcto?” ¿A qué se refiere Alex cuando dice que van a ser penalizados por hacer lo correcto? (3 pts) ¿Cuáles indicadores desarrolla Lou para que midan lo correcto (2 pts) y por qué representan al proceso de forma correcta (2 pts)?

En los libros contables el inventario es visto como un activo compuesto por el valor de la MP y el costo de transformación. Al disminuir el inventario en semielaborado, eso se transformó en una pérdida neta. Contablemente se debería haber visto compensado con dinero en cuenta, pero según dice Lou, solo es parcial el reflejo. Lou menciona que es necesario desarrollar indicadores de control para saber si se alcanza el objetivo de la empresa y otro vinculado a que la operación efectivamente conduzca a la lo que se requiere como objetivo de la empresa.

Indicadores:

- Throughput
- Inventario.
- Costo Operacional

Estos reflejan que el sistema produce lo que se vende (Throughput), no genera desperdicio (Inventario) y el proceso se encuentra bajo control en costos (Costo Operacional).

c) (6 puntos) Al final del libro, Stacey desarrolla 5 pasos que resumen la Teoría de Restricciones o la búsqueda de la meta. Indique esos 5 pasos (0,8 pts cada paso) y por qué el seguir estos pasos permiten lograr la meta de la organización (2 pts)

Los 5 pasos que identifican en la mejora continua se pueden resumir como:

1. Identificar las restricciones del sistema.
2. Decidir la manera de uso de dichas restricciones.
3. Atar al resto del sistema a la decisión del paso 2
4. Aumentar las capacidades de las restricciones del sistema.
5. Revisar si han cambiado las restricciones, y si puntualmente algún cuello de botella nuevo se ha generado. Es necesaria esta revisión para evitar problemas de inversión de recursos sin retorno económico

La metodología permite usar los recursos, con sus limitaciones, para obtener beneficios económicos para el negocio. Al poner como eje central la velocidad de las restricciones esto evita la existencia de inventarios de equipos mas rapidos, pero además también permite diagramar mejor la operación atentos a la velocidad real de respuesta y no las guiadas por costos (visión tradicional)

PARTE III (70 Puntos): Ejercicios. Responda las siguientes 2 Preguntas

1.- (35 Puntos) Usted es dueño de un pequeño supermercado, el cual dispone de solo una caja. Considere que los clientes llegan con una tasa de llegada de λ [clientes/min], que se distribuye en forma general y son atendidos a una tasa μ [clientes/min] que también distribuyen en forma general. Usted mide el tiempo efectivo, siendo este de T minutos, el coeficiente de variabilidad del tiempo promedio de llegadas de personas C_{ll} y finalmente mide el coeficiente de variabilidad del tiempo efectivo de la atención C_{at} . Sakasegawa (1977) propone una aproximación al tiempo de espera para sistemas G/G/c dada por:

$$W_q \approx \left(\frac{CV_a^2 + CV_s^2}{2}\right) \frac{\rho^{(\sqrt{2c+2})-1}}{c(1-\rho)} \frac{1}{\mu}$$

Usted se encuentra muy preocupado por el servicio al cliente de su supermercado 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. Por otro lado, es posible utilizar tecnología y 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 del supermercado.

- a) (13 Ptos) Plantee el modelo de programación matemática que le permita resolver el problema al dueño del supermercado. (Hint: Determine la/s variable/s de decisión y plantee la función objetivo).
- b) (12 ptos) Resuelva el problema anterior y desarrolle la forma funcional que me permita obtener el óptimo.
- c) (10 ptos) Suponga que puede colocar hasta 2 nuevas cajas de atención, con las mismas características de la caja anterior (Capacidad de atención y posibilidad de invertir en tecnología), a un costo de C_c por cada caja adicional. Plantee el nuevo modelo de programación matemática que le permita resolver el problema al dueño del supermercado. Indique claramente la/s variable/s de decisión, parámetros, función objetivo y restricciones. Plantee el algoritmo de como solucionaría el modelo planteado, no lo resuelva.

Respuesta de la Parte III Pregunta 2:

a) 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:

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

Por otro lado, el tiempo de espera en la cola se calcula según la fórmula de Sakasegawa para un $c=1$ y si $\rho=\lambda/\mu$, que es:

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

De esta forma, la función objetivo es:

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

La respuesta correcta completamente, 13 ptos. Una función objetiva bien definida, pero sin formulación matemática, 3 ptos. Bosquejos, elementos sueltos, 0 ptos.

b)

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 μ de la expresión anterior, se obtiene la tasa de atención óptima.

Derivacion completa, 12 pts. Bosquejos, sin resultado final, pero bien orientado, 5 pts. Elementos sueltos, sin mayor sentido, 0 pts.

c) Ahora se busca minimizar el costo total del sistema pero a través de la inserción de cajas. Si cada caja tiene tasa de atención μ entonces podemos escribir el costo total como el costo de espera, el costo de la tecnología y también el costo de las cajas adicionales X_c

$$C_{total} = C_q * W_q + C_k * \mu (X_c + 1) + C_c * X_c$$

Es decir, que es el costo de la cola más el costo de la mejora en la atención (Tecnología y Cajas adicionales), que está dado por el numero extra de cajas a costo C_c sobre el total de nuevas cajas, X_c y la tecnología aplicada a todas las cajas. Por ende las variables de decisión son X_c y μ .

Por otro lado, el tiempo de espera en la cola se calcula según la fórmula de Sakasegawa para un $c=1+X_c$ y si $\rho=\lambda/\mu$, que es:

$$CT_q \approx \left(\frac{CV_a^2 + CV_s^2}{2} \right) \frac{\lambda/\mu^{(\sqrt{2(1+X_c)}+2)-1}}{(1+X_c)(1-\lambda/\mu)} \frac{1}{\mu}$$

De esta forma, la función objetivo es:

$$MIN_{X_c, \mu} \left[C_q * \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \frac{\lambda/\mu^{(\sqrt{2(1+X_c)}+2)-1}}{(1+X_c)(1-\lambda/\mu)} T_e + C_k * \mu (X_c + 1) + C_c * X_c \right]$$

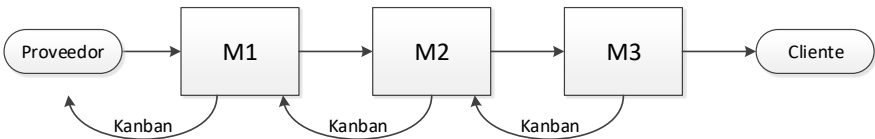
s.a.

$$\begin{aligned} X_c &\leq 2 \\ 0 &\leq X_c \end{aligned}$$

Se construye el lagrangeano, se deriva la función por X_c , μ y λ y se resuelve el sistema obteniendo los valores.

La respuesta correcta completamente, 10pts. Una función objetiva bien definida, pero sin formulación matemática, 3 pts. Bosquejos, elementos sueltos, 0 pts.

P.III-2 .- (35 pts.) Usted se encuentra a cargo de un proceso que produce lentes para uso en equipamiento de laboratorio. La demanda diaria registrada es de 20 lentes por hora. El proceso de producción de estos lentes pasa por 3 grandes operaciones antes del control de calidad ubicado al final de la línea: Corte (M1), Pulido (M2) y Terminado (M3). Para una mejor comprensión del problema se tiene el siguiente diagrama:



La empresa cuenta con un registro de los tiempos promedios de procesamiento (t_{pi}) por operación, además de los tiempos de envío de los Kanbans (t_{ki}) y tiempos de envío de los lotes (t_{vi}).

Operación	Lote (C)	t_{pi} (seg)	t_{ki} (seg)	t_{vi} (seg)
Prov- M1	25	85	45	200
M1-M2	30	78	67	300
M2-M3	35	50	92	150

Por su parte, los registros históricos del control de calidad indican que en promedio un 15% de las unidades son descartadas.

a) (10 pts) A partir de los datos anteriores, calcule el número de Kanbans necesarios en el proceso productivo. ¿Cuál es la actividad cuello de botella?

A continuación, se presentan los resultados de un plan de muestreo del proceso con tamaño de muestra de 3:

Muestra	Promedio muestra (n=3)	Mínimo	Máximo	R
1	3,9	3,6	4,05	0,45
2	4,206	3,971	4,308	0,337
3	4,214	4,062	4,4	0,338
4	4,522	3,749	3,937	0,188
5	3,121	3,01	4,322	1,312
6	4,125	3,501	4,084	0,583
7	4,135	3,543	4,584	1,041
8	3,752	2,935	4,396	1,461
Suma	31,975	28,371	34,081	5,71
Promedio	3,997	3,546	4,260	0,714

b) (9 Ptos.) Determine el grafico de control de procesos, indicando los limites. Se toman muestras adicionales y se tienen los siguientes resultados:

Muestra	n		
	1	2	3
1	4,725	4,825	3,653
2	3,965	3,26	5,123

c) (5 Ptos) ¿Qué puede comentar acerca del estado del proceso en las dos últimas muestras?

Un cliente le ofrece un contrato que tiene la especificación técnica y dos opciones sobre las que debe elegir:

Especificación técnica: Acepta los lentes entre 3.4 y 4.6 micrones

- OPCION 1: En cada envío de 10 unidades (lote) el cliente medirá todos los lentes, en cuyo caso le pagará \$150.000 por envío correcto (máximo una falla) y le devolverá el pedido completo si hay más de una falla.
- OPCION 2: Alternativamente puede realizar envíos de los lotes sin inspección, en cuyo caso el cliente aceptará todo sin inspeccionar, pero le pagará \$50.000

d) (11 Ptos.) Utilizando los datos obtenidos en la tabla inicial. Aceptaría alguna de las dos opciones que le ofrece el proveedor y que opción aceptaría. En caso de aceptar, indique la opción elegida. Justifique con cálculos todas las decisiones que tome en este punto.

Parte a

Operación	Lote (C)	t _{pi} (seg)	t _{ki} (seg)	t _{vi} (seg)	Lead Time	D*L/C	Corrección por calidad	Kanban
Prov- M1	25	85	45	200	330	4.4	5.06	6.00
M1-M2	30	78	67	300	445	4.9	5.69	6.00
M2-M3	35	50	92	150	292	2.8	3.20	4.00

Stock de seguridad	15%	or efecto de calidad
--------------------	-----	----------------------

Por resolución correcta 10 ptos. Si no hacen corrección por calidad, 7 ptos máximo. Si hay errores numéricos, resta en todos los casos 3 ptos. Bosquejos, y elementos sueltos, 0 ptos.

Pueden haber eliminado la muestra 5, o la 5 y 4 por el tema de minimo y máximo. La pauta para cada caso es:

Pauta eliminación de muestra 5

Muestra	Promedio muestra (n=3)	Mínimo	Máximo	R
1	3.9000	3.6000	4.0500	0.4500
2	4.2060	3.9710	4.3080	0.3370
3	4.2140	4.0620	4.4000	0.3380
4	4.5220	3.7490	3.9370	0.1880
6	4.1250	3.5010	4.0840	0.5830
7	4.1350	3.5430	4.5840	1.0410
8	3.752	2.935	4.396	1.4610
Promedio	4.1220	3.6230	4.2513	0.6283

Se elimino la muestra 5 SOLAMENTE

LCS X	4.76
LCI X	3.48
LCS R	1.61
LCI R	0

A2	1.02
D4	2.57
D3	0

Se elimino la muestra 5

Segunda Parte

	n				
Muestra	1	2	3	Media	Rango
1	4,725	4,825	3,653	4,401	1,172
2	3.97	3.26	5.12	4.116	1.863

Ok y no Ok

Dispersion a partir de R	R/d2	0.3711		
			Z	Probabilidad
Menor a 4,6	4.6	4.1220	1.2880	90%
Menor a 3,4	3.4	4.1220	-1.9455	3%
Probabilidad de que salga en especificacion				87.5%
Probabilidad de que al menos una unidad este fuera de especificacion				26.4%

Ahora valorizamos las opciones

Opcion 1	Revision 100%			
	Rechaza si mas de una pieza esta mala			
	Probabilidad de que haya al menos una unidad mal	26%		39586.55
Opcion 2	Sin Revision			

50000.00

Conviene sin muestreos

Pauta eliminación muestra 4 y 5

Muestra	Promedio muestra (n=3)	Mínimo	Máximo	R
1	3.9000	3.6000	4.0500	0.4500
2	4.2060	3.9710	4.3080	0.3370
3	4.2140	4.0620	4.4000	0.3380
6	4.1250	3.5010	4.0840	0.5830
7	4.1350	3.5430	4.5840	1.0410
8	3.752	2.935	4.396	1.4610
Promedio	4.0553	3.6020	4.3037	0.7017

Se elimino la muestra 4 y 5 SOLAMENTE

LCS X	4.77
LCI X	3.34
LCS R	1.80
LCI R	0
A2	1.02
D4	2.57
D3	0

Segunda Parte

	n				
Muestra	1	2	3	Media	Rango
1	4,725	4,825	3,653	4,401	1,172
2	3.965	3.260	5.123	4.116	1.863

Ok y No ok

Dispersion a partir de R	R/d2	0.4145		
			Z	Probabilidad
Menor a 4,6	4.6	4.0553	1.3142	91%
Menor a 3,4	3.4	4.0553	-1.5812	6%
Probabilidad de que salga en especificacion				84.9%
Probabilidad de que al menos una unidad este fuera de especificacion				19.4%

Ahora valorizamos las opciones

Opcion 1	Revision 100%			
	Rechaza si mas de una pieza esta mala			
	Probabilidad de que haya al menos una unidad mal	19%		29080.11
Opcion 2	Sin Revision			50000.00

Es conveniente la opción 2.

Detalle de puntajes:

Parte B:

Determinar correctamente los limites de control de medias y rangos 9 ptos. Si hay errores numéricos en la aplicación de las formulas correctas, resta 3 ptos. Por formulas aproximadas, sin explicación ni coherencia, 0 ptos.

Pueden haber eliminado outliers, en algunos casos la muestra 5 y en otros la muestra 4 y 5. Estan ok ambos, aplicar las tablas que están mas arriba para la pauta.

Parte C: hacer las cuentas, promedio y rango, 1 pto por cada muestra. Decidir si son ok o no ok, 1.5 pto por muestra.

Parte D: problema resuelto completamente y correctamente, 11 ptos.

Calculo de probabilidades básicas – 2 ptos

Calculo de probabilidad combinada – 4 ptos

Valorizacion de las opciones – 3 ptos

Decision – 2 ptos

Formulario

$$P = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)\left(\frac{q}{z}\right)} \quad P = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)\left(\frac{1}{n}\right)\left(\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{z_i}\right)}$$

$$Ben = sp_i - c_r d_i \quad Ben = s(p_i + D_i)$$

$$Beneficio_{min_A} = \frac{s * p_i - c_r * d_i}{l_i} \quad Restocks = \frac{f_i}{V_i} \quad Restocks/tiempo$$

$$Beneficio_{adic_A} = \frac{s * D_i + c_r * d_i}{u_i - l_i} \quad Costo\ Total = Costo\ Fijo + Costo\ Variable \times Volumen$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad L = \lambda \times W \quad c_T = \frac{\sigma}{t} = \frac{\sqrt{Var(T)}}{E(T)}$$

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad W = \frac{1}{\mu(1 - \rho)} \quad L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}, \quad W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$$

$$WIP = TH \times TC \quad L = \lambda * W \quad A = \frac{m_f}{m_r + m_f}$$

$$t_e = \frac{t_o}{A} \quad \sigma^2_e = \left(\frac{\sigma^2_o}{A}\right) + \frac{(m_r + \sigma^2_r)(1 - A)t_o}{Am_r} \quad c^2_e = \frac{\sigma^2_e}{t_e^2} = c^2_o + (1 + c^2_r)A(1 - A)\frac{m_r}{t_o}$$

$$t_e = t_o + \frac{t_s}{N_s} \quad \sigma^2_e = \sigma^2_o + \frac{\sigma^2_s}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s^2} t_s^2 \quad c^2_e = \frac{\sigma^2_e}{t_e^2} \quad CT_q = \underbrace{\left(\frac{C_a^2 + C_e^2}{2}\right)}_{\hat{v}} \underbrace{\left(\frac{\rho}{1 - \rho}\right)}_{\hat{u}} t_{\tau}^s$$

$$(c_s)^2 \approx \rho^2(c_e)^2 + (1 - \rho^2)(c_a)^2 \quad L_q = \frac{\rho}{1 - \rho} \times Prob(N > c)$$

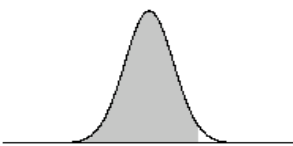
$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} - \frac{(b + 1)\rho^{b+1}}{1 - \rho^{b+1}} \quad \lambda' = \lambda \left(\frac{1 - \rho^b}{1 - \rho^{b+1}}\right)$$

$$W_q = \frac{\rho}{\lambda(1 - \rho)} \times Prob(N > c) \quad N = \frac{D \times L}{C} (1 + \varepsilon)$$

$$LCS \ \bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$$
$$LCI \ \bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$$
$$LCS \ R = D_4 * \bar{R}$$
$$LCI \ R = D_3 * \bar{R}$$

$$L = t_k + t_p + t_v$$
$$\sigma \approx \frac{\bar{R}}{d_2}$$
$$LCS = \bar{x} + Z * \sigma$$
$$LCI = \bar{x} - Z * \sigma$$

Tamano Muestra	A ₂	d ₂	D ₃	D ₄
2	1.880	1.128	0	3.267
3	1.023	1.693	0	2.574
4	0.729	2.059	0	2.282
5	0.577	2.326	0	2.114
6	0.483	2.534	0	2.004
7	0.419	2.704	0.076	1.924
8	0.373	2.847	0.136	1.864
9	0.337	2.970	0.184	1.816
10	0.308	3.078	0.223	1.777
11	0.285	3.173	0.256	1.744
12	0.266	3.258	0.283	1.717
13	0.249	3.336	0.307	1.693
14	0.235	3.407	0.328	1.672
15	0.223	3.472	0.347	1.653
16	0.212	3.532	0.363	1.637
17	0.203	3.588	0.378	1.622
18	0.194	3.640	0.391	1.608
19	0.187	3.689	0.403	1.597
20	0.180	3.735	0.415	1.585
21	0.173	3.778	0.425	1.575
22	0.167	3.819	0.434	1.566
23	0.162	3.858	0.443	1.557
24	0.157	3.895	0.451	1.548
25	0.153	3.931	0.459	1.541



$P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z f(t) dt$

Tabla de distribución normal estándar

z	0.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.4878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998