



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

## Examen PAUTA

ICS 3213 Gestión de Operaciones  
Sección 1 y Sección 2 – 1<sup>er</sup> semestre 2017  
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 o el formulario.**
- 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 120 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. Las franquicias permiten coordinan las cadenas de abastecimiento.

Verdadero

2. En la definición de los límites de control superior e inferior, en el Control Estadístico de Procesos, se debe considerar todos los datos muestrales, inclusive aquellos que se encuentran fuera de los limites.

Falso, en la elaboración de los limites se deben eliminar los datos que se encuentren fuera de estos últimos.

3. Al aumentar la rotación del inventario, manteniéndose el resto de los factores constantes, se requiere mayor espacio de bodega.

Si utilizamos la ecuación de Little  $L=\lambda * W$ , w corresponde a la espera o días en inventario. Al aumentar la rotación del inventario, caen los días en inventario (W), por lo que se necesita menos espacio.

4. Ante un proceso que presenta coeficientes de variación de llegada (arribo) y del proceso iguales, para disminuir el tiempo de ciclo, es siempre preferible disminuir primero el coeficiente de variación de proceso antes que el de llegada (arribo).

Falso, para un mismo proceso de acuerdo a la ecuación de Kigman o VUT, somos indiferentes entre cambiar el coeficiente de arribo o del proceso.

5. Para resolver la ruta crítica de un proyecto, es necesario resolver el siguiente modelo de optimización:

$$\begin{aligned} &\max \sum_{i=1}^n x_i \\ &\text{s.a.} \\ &x_j - x_i \geq t_{ij} \quad \forall (i,j) \\ &x_i \geq 0 \quad \forall i = 1 \dots n \end{aligned}$$

en donde i y j son los nodos de origen y destino y t(i,j) es la duración de la actividad, con x como la variable de decisión.

Falso, se deben minimizar Xi y no maximizar.

6. La planificación de horizonte rodante se basa en que, en cada ventana de tiempo con nueva información, la planificación de corto plazo se actualiza, mientras la planificación agregada o de largo plazo se mantiene inalterada.

Falso, bajo un horizonte rodante, al disponer de nueva información se debe actualizar tanto la planificación agregada como la de corto plazo.

7. La casa de la calidad o QFD busca detectar los problemas de calidad en el sistema productivo

Falso, la casa de la calidad se utiliza para determinar los atributos que valora el cliente y transformarlos en prioridades para el diseño de productos y procesos.

8. El modelo de inventario de periodo fijo buscar determinar cantidades a pedir que minimizan el costo total de inventario.

Falso, bajo un esquema de periodo fijo NO se minimiza el costo total de inventario, se pide solo lo necesario para el periodo.

9. Al aumentar la rotación de inventario, disminuye el cash-to-cash cycle (o ciclo de caja).

Verdadero.

10. Los focos de la estrategia operativa son calidad, flexibilidad, costo y diferenciación.

Falso, diferenciación no es un foco de estrategia operativa. La velocidad es el foco que falta.

PARTE II (30 Puntos): Ejercicios Cortos. Responda las siguientes 3 Preguntas

a) (10 puntos) Demuestre matemáticamente que el modelo de suavizamiento exponencial se puede expresar como  $F_{t+1} = \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \alpha)^k \alpha A_{t-k}$ .

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t$$
$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}$$
$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)\alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)^2 F_{t-1}$$
$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)\alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)^2 \alpha A_{t-2} + (1 - \alpha)^3 F_{t-3}$$
$$F_{t+1} = \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \alpha)^k \alpha A_{t-k} + (1 - \alpha)^{\infty} F_{t-\infty}$$
$$F_{t+1} = \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \alpha)^k \alpha A_{t-k}$$

b) (10 puntos) Demuestre matemáticamente que cuando una SKU se almacena en espacio compartido en k lugares de igual tamaño, la eficiencia del uso del espacio es igual a  $ef = \frac{k}{(k+1)}$

La eficiencia de espacio es = Espacio Utilizado/Espacio Disponible.  
  
Cuando se divide en k Unidades el espacio disponible se va ajustando de acuerdo a una sumatoria.
$$Disp = \sum_{n=1}^k n = \frac{k(k+1)}{2}$$
  
El espacio utilizado corresponde a los (k-1) espacios completamente utilizados más la media unidad en uso que se libera en cada periodo.
$$Util = \sum_{n=1}^{k-1} n + \frac{k}{2} = \frac{(k-1)(k)}{2} + \frac{k}{2}$$
$$Ef = \frac{Util}{Disp} = \frac{\frac{k^2}{2}}{\frac{k(k+1)}{2}} = \frac{k}{(k+1)}$$

c) (10 puntos) Demuestre matemáticamente que para una cadena de abastecimiento con un retailer que enfrenta una demanda  $Q=a-P$  y un productor con costos de \$c por unidad; el retailer venderá el doble de unidades en una cadena centralizada que en el caso de una cadena descentralizada.

Descentralizado

$$\Pi_{Ret}(P) = Q(P - w) = (a - P)(P - w) = aP - aw - P^2 + Pw$$
$$\frac{d \Pi_{Ret}(P)}{dP} = a - 2P + w = 0$$
$$P^* = \frac{a + w}{2}$$

$$\Pi_{Fab}(w) = Q(w - c) = (a - P)(w - c)$$
$$\Pi_{Fab}(w) = (a - \frac{a + w}{2})(w - c) = (\frac{a - w}{2})(w - c) = \frac{aw - ac - w^2 + wc}{2}$$
$$\frac{d \Pi_{Fab}(w)}{dw} = \frac{a - 2w + c}{2} = 0$$
$$w^* = \frac{a + c}{2}$$
$$P^* = \frac{a + (\frac{a + c}{2})}{2} = \frac{3a + c}{4}$$
$$Q^* = a - \frac{3a + c}{4} = \frac{a - c}{4}$$

Centralizado

$$\Pi_{sc}(P) = Q(P - c) = (a - P)(P - c) = aP - ac - P^2 + Pc$$
$$\frac{d \Pi(P)}{dP} = a - 2P + c = 0$$
$$P^* = \frac{a + c}{2} = 50.5$$
$$Q^* = a - \frac{a + c}{2} = \frac{a - c}{2}$$

Por ende, es el doble.

**PARTE II (70 Puntos): Ejercicios de Desarrollo. Responda las siguientes 3 Preguntas**

1.- (17 Puntos) Usted tiene una tienda de ropa mayorista y está muy preocupado, porque no puso atención en clases cuando se vieron los modelos de inventarios y actualmente tiene un gran problema con un producto nuevo: su parka. La venta de sus productos de deporte se hace de lotes de a 25 y marketing le ha hecho un análisis y la distribución de probabilidades de la venta (En unidades):

Cantidad de Parkas	250	300	350	400	450	500
Probabilidad	0,06	0,16	0,28	0,2	0,16	0,14

Si usted vende cada parka en la temporada a un valor retail de \$140, el proveedor le cobra \$100 por cada parka. Si no la vende en temporada debe liquidarla en el outlet y venderla a un precio de \$50. Hint: La fórmula de varianza es  $\sigma^2 = \sum (x_i - \mu)^2 p(x_i)$ .

- a) (10 Ptos) ¿Qué cantidad de parkas debería pedir? ¿Cuál es la ganancia/perdida esperada?
- b) (7 Ptos) Suponiendo que la distribución subyacente es la distribución normal. ¿Cambia la cantidad a pedir obtenida en a)? Demuéstrelo matemáticamente.

Respuesta de la Parte III Pregunta 1:

a) Se determina las utilidades Cu=40 Co=50 F-1=40/90=0.4444

Por ende en la tabla la probabilidad acumulada me entrega:

Cantidad de Parkas	250	300	350	400	450	500
Probabilidad	0,06	0,16	0,28	0,2	0,16	0,14
P() Acum	0,06	0,22	0,50	0,7	0,86	1

La cantidad optima a pedir que se acerca al 0,444 es 350 unidades.

La Ganancia esperada es:

Cantidad de Parkas	250	300	350	400	450	500	
Probabilidad	0,06	0,16	0,28	0,2	0,16	0,14	
Uilidad Venta	\$ 10.000	\$ 12.000	\$ 14.000	\$ 14.000	\$ 14.000	\$ 14.000	
Perdida por Liquidar	\$ 5.000	\$ 2.500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Perdida de Ganancia	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2.000	\$ 4.000	\$ 6.000	
Utilidad	\$ 5.000	\$ 9.500	\$ 14.000	\$ 12.000	\$ 10.000	\$ 8.000	\$ 58.500

c)

Cantidad de Parkas	250	300	350	400	450	500		
Probabilidad	0,06	0,16	0,28	0,2	0,16	0,14	Mu	
Parkas*P()	15	48	98	80	72	70	383	Sigma
Desv	1061,34	1102,24	304,92	57,8	718,24	1916,46	5161	71,8401002

44.44% en la tabla de normalidad es -0.14

La cantidad a pedir es 383 – 0,14\*71.84= 372,94

Por ende es más cercano a 375. Por ende cambia la decisión de a.

2.- (30 Puntos) Usted está a cargo de la logística de una empresa que vende al retail. Actualmente la empresa cuenta con un producto y dos mercados en los que vende su producción (1 y 2). Usted determina que el costo de

cada orden es de \$60 por orden y el costo de mantener inventario es de \$0,27 por unidad a la semana. El gerente le pide un nivel de servicio de un 97% ( $z=1,88$ ). La fábrica tiene un tiempo de respuesta o lead time de 1 semana. A continuación, se detalla la información de la demanda para cada mercado, su promedio y desviación estándar:

Mercado	Semana					Promedio	Desv. Est.
	1	2	3	4	5		
1	33	45	37	38	55	41,6	8,6
2	46	35	41	40	26	37,6	7,6

Se despacha directamente a cada mercado independientemente y usted está analizando la posibilidad de centralizar el despacho. Usted ha determinado que el costo de trasporte descentralizado es de \$1,05 por unidad y centralizado es de \$1,10 por unidad y el precio de venta del producto es \$10. Con esta información usted debe:

- a) (10 pto) Determinar la política de inventario descentralizada para cada mercado, bajo un esquema de revisión continua. Determine el costo anual de esta política.
- b) (10 pto) Determinar la política de inventario centralizada, bajo un esquema de revisión continua. Determine el costo anual de esta política.
- c) (10 pto) ¿Qué recomendaría usted: centralizar la distribución o mantenerla descentralizada? Si la empresa contara con N productos y M mercados. Construya un modelo matemático que permita determinar la decisión óptima.

Respuesta de la Parte III Pregunta 2:

Bajo el esquema de revisión continua se pide el Q\* y el punto de reorden está dado por:

$$Q_{eq} = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{H}}$$

$$R = d \times L + z_{\alpha} \sigma \sqrt{L}$$

El costo anual de cada política está dado por la siguiente formula:

$$CT = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H + \text{Costo Transporte}$$

Pregunta a) y b)

Mercado	Semana						Des Est	Q*	R	CT	
	1	2	3	4	5	Promedio					
1	33	45	37	38	55	41,6	8,6	135,97	57,86	\$25.812,43	
2	46	35	41	40	26	37,6	7,6	129,27	51,83	\$23.419,93	\$49.232,36
Consolidado	79	80	78	78	81	79,2	1,3	187,62	81,65	\$48.348,38	\$ 883,99

c)

Se recomienda la centralización, menores costos.

Se dispone las demandas de cada planta N a cada Mercado M en cada tiempo t. El modelo descentralizado es:

$$\min CT = \sum_{n,m} \bar{D}_{n,m} C + \frac{\bar{D}_{n,m}}{Q_{n,m}} S + \frac{Q_{n,m}}{2} H + \bar{D}_{n,m} T$$

S / A

$$\bar{D}_{n,m} = \sum_t \frac{D_{n,m,t}}{n}$$

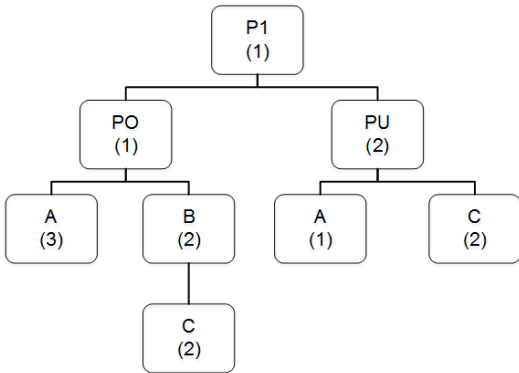
El modelo Centralizado es:

$$\min CT = \sum_n \bar{D}_n C + \frac{\bar{D}_n}{Q_n} S + \frac{Q_n}{2} H + \bar{D}_n T$$

S / A

$$\bar{D}_n = \sum_t \left( \sum_m D_{n,m,t} \right) / n$$

3.- (23 Puntos) Usted es el Gerente de Operaciones de una empresa que produce el producto P1. A continuación, se detalla el BOM (el número indica las piezas necesarias) de este producto (P1):



El tiempo de producción o entrega de cada pieza es de  $L_k$  semanas para cada pieza  $k$ , y las máquinas y proveedores tienen una capacidad máxima de entregar  $C_k$  unidades a la semana. Además, los costos semanales de inventario son de  $\$ CI_k$  por cada unidad de pieza  $k$  mantenida en inventario y el costo de producción es de  $\$ P_k$  por cada unidad de pieza  $k$  producida. El inventario inicial es de  $II_k$  piezas de la pieza  $k$ . La demanda por P1 es  $D_t$  unidades para cada semana  $t$ .

a) (15 puntos). Con esta información plantee un problema de programación matemática que permita obtener el plan de producción de la empresa.

Usted ahora debe analizar el espacio a asignar de cada parte y pieza de P1 en el área de pick rápido. Para esto usted determina que cada caja, que contiene una pieza  $k$  tiene un volumen de  $T_k$  mt3 y actualmente tiene disponible  $U$  mt3 en el área de pick rápido. Si el reabastecimiento en la zona rápida cuesta  $\$Cr$  por cada reabastecimiento.

b) (8 puntos) Con esta información desarrolle un modelo de optimización que permita determinar el volumen a asignar de cada pieza  $k$  en la zona de pick rápido.

Respuesta de la Parte III Pregunta 3:

a) Las variables de decisión son:  $P_{k,t}$ ,  $X_{k,t}$  e  $I_{k,t}$  que corresponden  $P_{k,t}$  la orden de producción de  $k$  liberada en  $t$ ,  $X_{k,t}$  cantidad de  $k$  disponible en  $t$  y  $I_{k,t}$  unidades de inventario de  $k$  en  $t$ . Fact  $k,u$  es el factor del número de piezas de  $k$  para producir  $u$ .

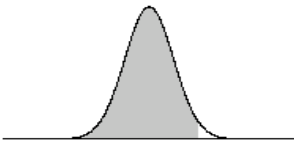
$$\begin{aligned} &Min \sum_{k,t} P_k X_{k,t} + \sum_{k,t} CI_k I_{k,t} \\ &S/A \\ &I_{P1,t} = I_{P1,t-1} + X_{P1,t} - D_t \qquad \forall t \neq 0 \\ &X_{P1,t} \leq C_{P1} \\ &P_{P1,t-L_{P1}} = X_{P1,t} \\ &I_{P1,0} = II_{P1} \\ &I_{k,t} = I_{k,t-1} + X_{k,t} - Fact_{k,u} P_{u,t} \qquad \forall t \neq 0, (k,u) \in BOM \\ &X_{k,t} \leq C_k \\ &P_{k,t-L_{P1}} = X_{k,t} \\ &I_{k,0} = II_k \\ &I_{k,0}, P_{k,t}, I_{k,t} \geq 0 \end{aligned}$$

b) Se deben tener las cantidades a tener en inventario durante  $t$   $X_k$  la variable de decisión es  $V_k$  volumen asignado a  $k$ .

$$\begin{aligned} &Min Cr * \sum_k \frac{X_k T_k}{V_k} \\ &S/A \end{aligned}$$



$$\sum_k V_k \leq U$$
$$V_k \geq 0$$



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

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	.9878	.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

Formulario

$$CT = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$$Q_{eoq} = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{H}}$$

$$R = d \times L$$

$$R = d \times L + z_{\alpha} \sigma \sqrt{L}$$

$$Q^* = d \times (T + L) + z_{\alpha} \sigma \sqrt{(T + L)} - I_{existente}$$

$$I = T_p \times (p - d)$$

$$Q^* = F^{-1}\left(\frac{c_u}{c_o + c_u}\right)$$

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad \sigma = \frac{b - a}{6}$$

$$Q = T_p \times p$$
$$T_p = \frac{Q}{p}$$

$$EF = ES + t$$
$$LS = LF - t$$

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_i^2}}$$

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

$$ef = \frac{k}{k + 1}$$

$$Ben = sp_i - c_r d_i$$

$$Ben = s(p_i + D_i)$$

$$Beneficio_{min\_A} = \frac{s * p_i - c_r * d_i}{l_i}$$

$$Restocks = \frac{f_i}{V_i} \text{ Restocks/tiempo}$$

$$Beneficio_{adic\_A} = \frac{s * D_i + c_r * d_i}{u_i - l_i}$$

Costo Total= Costo Fijo + Costo Variable x Volumen

$$v_i^* = \left(\frac{\sqrt{f_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{f_j}}\right) v$$

$$\frac{p_i}{\sqrt{f_i}}$$

$$C_x = \frac{\sum d_{ix} V_i}{\sum V_i}$$

$$C_y = \frac{\sum d_{iy} V_i}{\sum V_i}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$$

$$L = \lambda \times W$$

$$c_T = \frac{\sigma}{t} = \frac{\sqrt{\text{Var}(T)}}{E(T)}$$

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

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

$$WIP = TH \times TC$$

$$L = \lambda * W$$

$$A = \frac{m_f}{m_r + m_f}$$

$$t_e = \frac{t_o}{A}$$

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

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

$$t_e = t_o + \frac{t_s}{N_s}$$

$$\sigma^2_e = \sigma^2_o + \frac{\sigma^2_s}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s^2} t_s^2$$

$$c^2_e = \frac{\sigma^2_e}{t_e^2}$$

$$(c_s)^2 \approx \rho^2 (c_e)^2 + (1 - \rho^2) (c_a)^2$$

$$CT_q = \underbrace{\left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right)}_{\hat{v}} \underbrace{\left(\frac{\rho}{1 - \rho}\right)}_{\hat{u}} \underbrace{t_e}_{\hat{t}}$$

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} - \frac{(b + 1)\rho^{b+1}}{1 - \rho^{b+1}}$$

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

$$L_q = \frac{\rho}{1 - \rho} \times Prob(N > c)$$

$$W_q = \frac{\rho}{\lambda(1 - \rho)} \times Prob(N > c)$$

$$F_t = w_1A_{t-1} + w_2A_{t-2} + w_3A_{t-3} + \dots + w_nA_{t-n}$$

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t$$

$$\hat{y} = a + bx$$

$$\sum_1^n w_n = 1$$

$$TS_k = \frac{\sum_{t=1}^k e_k}{MAD_k}$$

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}}{n}$$

$$\sigma = 1,25 * MAD$$

$$MAD_k = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k |e_t|$$

$$T_{(t,t-1)} = A_t - A_{t-1}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{(t-i,t-i-1)}}{n}$$

$$e_t = F_t - A_t$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$FIT_t = \underbrace{F_t}_{\text{Pronóstico}} + \underbrace{T_t}_{\text{Tendencia}}$$

$$F_t = FIT_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - FIT_{t-1})$$

$$T_t = T_{t-1} + \alpha\delta(A_{t-1} - FIT_{t-1})$$

c	LTPD/AQL	n*AQL
0	44,890	0,052
1	10,946	0,355
2	6,509	0,818
3	4,890	1,366
4	4,057	1,97
5	3,549	2,613
6	3,206	3,286
7	2,957	3,981
8	2,768	4,695
9	2,618	5,426

$$LCS = \bar{x} + Z * \sigma$$

$$LCI = \bar{x} - Z * \sigma$$

$$LCS \bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$$

$$LCI \bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$$

$$LCS R = D_4 * \bar{R}$$

$$LCI R = D_3 * \bar{R}$$

$$L = t_k + t_p + t_v$$

$$N = \frac{D \times L}{C}$$

$$N = \frac{D \times L}{C} (1 + \varepsilon)$$

$$C_{pk} = \frac{USL - Media}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{Media - LSL}{3\sigma}$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Tamano Muestra	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
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