



**Guía de Ejercicios:**  
*Lean y Bodegas y CD*

## 1. Calidad

### 1.1. Problema 1

En una fabrica de galletas, la línea está trabajando en régimen. Se han tomado muestras, con 5 elementos cada una, una vez por hora. La empresa le da a usted una tabal de datos de esos muestreos, Los dueños de la empresa esperan que pueda decir si el proceso está o no fuera de control realmente.

Sample Number	Wafers					$\bar{x}_i$	$R_i$
	1	2	3	4	5		
1	1.3235	1.4128	1.6744	1.4573	1.6914	1.5119	0.3679
2	1.4314	1.3592	1.6075	1.4666	1.6109	1.4951	0.2517
3	1.4284	1.4871	1.4932	1.4324	1.5674	1.4817	0.1390
4	1.5028	1.6352	1.3841	1.2831	1.5507	1.4712	0.3521
5	1.5604	1.2735	1.5265	1.4363	1.6441	1.4882	0.3706
6	1.5955	1.5451	1.3574	1.3281	1.4198	1.4492	0.2674
7	1.6274	1.5064	1.8366	1.4177	1.5144	1.5805	0.4189
8	1.4190	1.4303	1.6637	1.6067	1.5519	1.5343	0.2447
9	1.3884	1.7277	1.5355	1.5176	1.3688	1.5076	0.3589
10	1.4039	1.6697	1.5089	1.4627	1.5220	1.5134	0.2658
11	1.4158	1.7667	1.4278	1.5928	1.4181	1.5242	0.3509
12	1.5821	1.3355	1.5777	1.3908	1.7559	1.5284	0.4204
13	1.2856	1.4106	1.4447	1.6398	1.1928	1.3947	0.4470
14	1.4951	1.4036	1.5893	1.6458	1.4969	1.5261	0.2422
15	1.3589	1.2863	1.5996	1.2497	1.5471	1.4083	0.3499
16	1.5747	1.5301	1.5171	1.1839	1.8662	1.5344	0.6823
17	1.3680	1.7269	1.3957	1.5014	1.4449	1.4874	0.3589
18	1.4163	1.3864	1.3057	1.6210	1.5573	1.4573	0.3153
19	1.5796	1.4185	1.6541	1.5116	1.7247	1.5777	0.3062
20	1.7106	1.4412	1.2361	1.3820	1.7601	1.5060	0.5240
21	1.4371	1.5051	1.3485	1.5670	1.4880	1.4691	0.2185
22	1.4738	1.5936	1.6583	1.4973	1.4720	1.5390	0.1863
23	1.5917	1.4333	1.5551	1.5295	1.6866	1.5592	0.2533
24	1.6399	1.5243	1.5705	1.5563	1.5530	1.5688	0.1156
25	1.5797	1.3663	1.6240	1.3732	1.6887	1.5264	0.3224
						$\Sigma \bar{x}_i = 37.6400$	$\Sigma R_i = 8.1302$
						$\bar{\bar{x}} = 1.5056$	$\bar{R} = 0.32521$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{25} R_i}{25} = \frac{8.1302}{25} = 0.32521 \quad \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{25} \bar{x}_i}{25} = \frac{37.6400}{25} = 1.5056$$

A su vez están analizando dos nuevos clientes:

- Cliente 1 plantea una especificación que es 1.4 a 1.6.
- Cliente 2 plantea una especificación que es 1.2 a 1.8

Además para la empresa implican costos tanto fijos com variables aceptar a cliente, ya que ambos clientes provocan constos fijos de \$3,000,000 y para mantener su nivel de calidad el cliente 1 cobra una multa de \$500.000 por el porcentaje de veces que el material se encuentre dentro de su rango de especificación, mientras que el cliente 2 cobra una multa de \$100.000 por el porcentaje de veces que el material no se encuentre en su rango de especificación.

Usted está asesorando a la fábrica de galletas, quien le plantea que desea minimizar sus costos al contratar clientes. ¿Con cuál d elos dos clientes le recomendaría hacer negocios?

TAMAÑO DE MUESTRA, $n$	CARTA $\bar{X}$ $A_2$	CARTA R			CARTA S $\epsilon_4$	ESTIMACION DE $\sigma$ $d_2$
		$d_3$	$D_3$	$D_4$		
2	1.880	0.853	0.0000	3.2686	0.7979	1.128
3	1.023	0.888	0.0000	2.5735	0.8862	1.693
4	0.729	0.880	0.0000	2.2822	0.9213	2.059
5	0.577	0.864	0.0000	2.1144	0.9400	2.326

### Solución:

Primero debemos identificar que se tienen 25 muestras con un tamaño de muestras de 5 unidades. Con esto y con los datos recopilados de la tabla del formulario se puede calcular:

$$\bar{X} = 1,5056 \text{ y } \bar{R} = 0,325$$

$$A_2 = 0,577 ; D_3 = 0 ; D_4 = 2,1144 ; d_2 = 2,326$$

COon esta información proseguimos a calular los límites de control de fábrica:

$$LCS\hat{X} = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R} = 1,7$$

$$LCI\hat{X} = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R} = 1,32$$

$$LCSR = D_4 \cdot \bar{R} = 0,69$$

$$LCIR = D_3 \cdot \bar{R} = 0$$

Con esto podemos calcular las probabilidades de especificación de los clientes:

Cliente 1 :

$$P(x \leq 1,6) = P(z \leq 0,64) = 73,9 \%$$

$$P(x \leq 1,4) = P(z \leq -0,79) = 21,5 \%$$

Lo que requiere cliente uno es

$$P(1,4 \leq x \leq 1,6) = 52,5 \%$$

La fábrica cumplirá con las especificaciones con un 52.4 %.

Cliente 2 :

$$P(x \leq 1,8) = P(z \leq 2,07) = 98,08 \%$$

$$P(x \leq 1,2) = P(z \leq -2,2) = 1,39 \%$$

Lo que requiere cliente uno es

$$P(1,2 \leq x \leq 1,8) = 96,7 \%$$

La fábrica cumplirá con las especificaciones con un 96.7 %.

Ahora proseguimos a calcular los costos de ambos clientes.

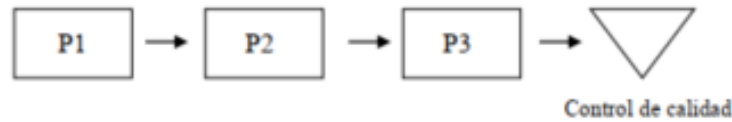
$$\text{Costo Cliente 1} = 3,000,000 + 500,000 \cdot P(\text{nocumplir}) = 3,238,000$$

$$\text{Costo Cliente 2} = 3,000,000 + 100,000 \cdot P(\text{nocumplir}) = 3,003,300$$

Luego el cliente que minimiza los costos es el cliente 2, por lo tanto escojo hacer negocios con él.

## 1.2. Problema 2

La empresa ABC desea establecer un plan de producción JIT. La demanda diaria registrada es de 200 tarjetas telefónicas por hora. El proceso de producción de estas tarjetas pasa por 3 grandes operaciones antes del control de calidad ubicado al final de la línea: impresión de leyendas (P1), la inclusión de chip (P2) y cortado de tarjetas (P3). Esto se muestra en la siguiente figura:



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

OPERACIÓN	Lote (C)	$t_{pi}$ s	$t_{ki}$ s	$t_{vi}$ s
P1	200	85	45	200
P2	250	78	67	300
P3	300	50	92	150

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

a) A partir de los registros históricos de los datos anteriores, calcule el número de Kanban necesarios en el proceso productivo.

Las investigaciones de la empresa han determinado que el proceso P3 es el que está actualmente generando el 15 % del descarte de las tarjetas, las cuales no están saliendo con los tamaños adecuados. Se realizó un muestreo del largo de las tarjetas de 5 lotes recibidos durante los últimos 5 días. Los resultados se muestran a continuación:

Día	Largo (mm)				
1	70	56	49	67	61
2	65	47	70	70	68
3	70	49	42	68	54
4	50	47	52	67	50
5	48	65	51	50	65

b) Calcule los límites de control, eliminando los outliers. Realice los gráficos correspondientes.

c) Si al día 6 usted toma una muestra con los siguientes resultados: 63, 54, 43, 69 y 65. ¿Qué se puede decir de la muestra? ¿El proceso está bajo control?

d) EL implementar el control, reduce la fallas del sistema solo un 5 %. Con esta información, ¿cambia el número Kanban? Argumente.

**Solución:**

a) Se calcula L para cada proceso, como la suma de los tiempos:

- $L1 = 330$
- $L2 = 445$
- $L3 = 292$

Ahora se calcula el Kanban para cada proceso,  $N = \frac{D}{0,85} \cdot \frac{L}{C}$

- $N1 = 389$
- $N2 = 419$
- $N3 = 230$

b) Se calculan los promedios y los rangos de los largos de tarjetas

X	R
60.6	21
64	23
54.6	28
53.2	20
55.8	17
58.04	21.8

De la tabla del ejercicio anterior obtenemos los siguientes valores:

- $A_2 = 0,58$
- $D_3 = 0$
- $D_4 = 2,11$
- $LCS R = 46$
- $\hat{X} = 70,7$
- $LCI R = 0$
- $LCI \hat{X} = 45,4$

Podemos apreciar de que tenemos numeros fuera de rango.

Día	Largo (mm)				
1	70	56	49	67	61
2	65	47	70	70	68
3	70	49		68	54
4	50	47	52	67	50
5	48	65	51	50	65

Se vuelve a calcular el promedio de estos datos y se obtiene un promedio 58.8 y un rango de 24.6, ahora obtenemos:

- LCS R = 43
- $\hat{X} = 70,6$
- LCI R = 0
- LCI  $\hat{X} = 46,9$

c) El rango de la muestra del día 6 tienen un rango de 26 y un promedio de 58.8, lo que está dentro de los límites. Se puede aceptar el lote.

d) Si cambia, porque ahora cambia la demanda. Esta sería solo  $2,000/0.05$ . Si volvemos a calcular el Kanban para cada proceso, pero utilizando  $N = \frac{D}{0,95} \cdot \frac{L}{C}$

- N1 = 348
- N2 = 375
- N3 = 205

## 2. Lean

### 2.1. Problema 1

Preguntas de verdadero y falso:

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

**Solución:** Verdadero

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

**Solución:** Falso, tiene como motivación equilibrar los tamaños de lotes producidos y las condiciones de proceso para aumentar la frecuencia de producción y disminuir lotes e inventarios

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

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

### 2.2. Problema 2

Supóngase que un hospital privado especializado en una cirugía en particular tiene demanda de 16 operaciones al día y que la sala de operación está abierta ocho horas por día, Calcule el takt time.

**Solución:** Tiempo Takt es un índice de demanda para un proceso que se calcula dividiendo el tiempo de producción entre la cantidad de productos que el cliente demanda en tal tiempo. En el caso de la sala de operaciones, el tiempo de producción es  $8 \times 60$  minutos, dividido entre 16 cirugías que deben hacerse en ese tiempo; lo que da un Takt de 30 minutos.

### 2.3. Problema 3

Defina que es el desperdicio o muda, y mencione los principales ejemplos.

**Solución:**

Cualquier cosa o actividad que genera costos pero que no agrega valor al producto se considera un desperdicio o muda. En Ohno (1988) se identifican siete tipos de desperdicio: sobreproducción, esperas, transportación, sobreprocesamiento, inventarios, movimientos y retrabajos.

### 3. Bodegas y CD

#### 3.1. Problema 1

Usted está a cargo de las operaciones de un CD de una marca de cervezas conocidas como ING. Dentro de sus planes, usted considera optimizar los procesos dentro del CD. En primer lugar desea diseñar una bodega con pallets a piso para los SKU dispuestos en la siguiente tabla. La bodega recibirá pallets de 1.3 m x 1.1 m en invierno y 1.4 m x 1.4 m en verano, los que se ubican de modo que la cara más agosta de hacia el pasillo, el que se encuentra a un solo lado y tiene un ancho de 5 metros. En invierno se reciben packs de cervezas chicas en botella (A), six packs de latas 330 cc (B), galones de cerveza (c) y packs de botellas de litro retornable (D). En cambio en verano se reciben galones (c), packs de botellas de litro retornables (D) y packs de cervezas de latas de 470 cc (E). La cantidad ordenada y la altura máxima de apilado se muestran a continuación:

SKU	Cantidad Ordenada (pallet)	Altura apilado (pallets)
A	29	4
B	13	7
C	7	4
D	15	2
E	12	3

- Para cada SKU determine la profundidad óptima para asegurar el guardado de los productos en cada periodo.
- Para todas las SKU, determine una profundidad óptima única para cada temporada.
- Construya un gráfico para las profundidades calculadas en verano, donde el eje x será SKU y el eje y será la profundidad.
- Determine la configuración óptima de la bodega de modo de optimizar el uso del espacio en verano.

**Solución:** a)

$$Prof_i = \sqrt{\frac{\alpha}{2} \cdot \frac{i}{i}}$$

Donde,  $\alpha = \frac{anchopasillo}{anchopallet}$ ,  $q_i$  = Dda ordenada del  $SKU_i$  y  $z_i$  = altura de apilado. Es importante mencionar que para determinar el valor de  $\alpha$  se debe utilizar el largo de la otra cara.

Se obtiene:

SKU	Profundidad INV	# pallet necesarios INV	Profundidad VER	# pallet necesarios VER
A	3.73	4	-	-
B	1.89	2	-	-
C	1.83	2	1.77	2
D	3.80	4	3.66	4
E	-	-	2.67	3

b)

$$Prof = \sqrt{\frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_i^i \frac{i}{i}}$$

Con  $n = \text{número de SKU}$

$$Prof_{INV} = 2,97 \text{ y } Prof_{VER} = 2,80$$

c)

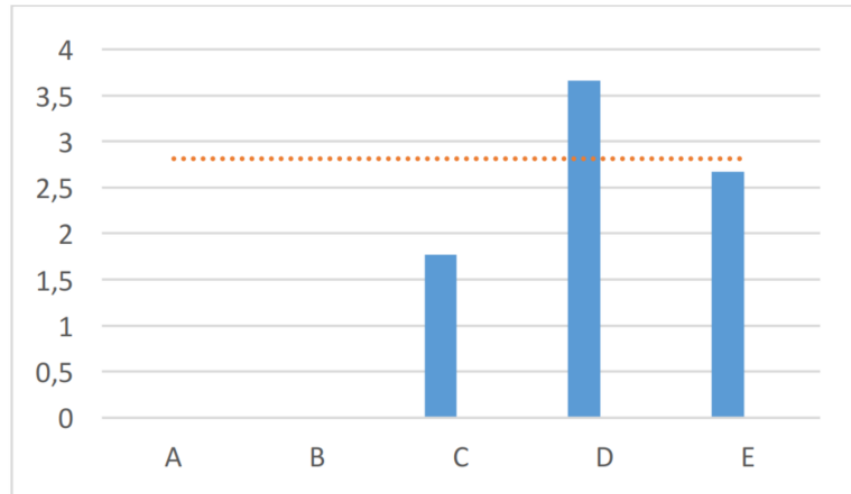


Figura 1: Altura de pallet verano

d) Con los resultados obtenidos en pregunta b) se puede obtener la siguiente configuración:

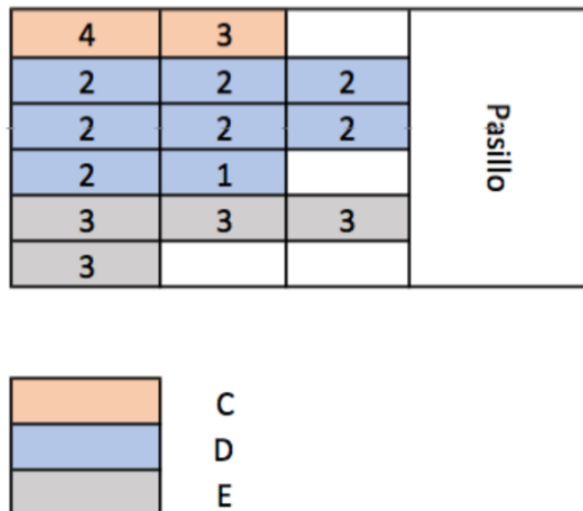


Figura 2: Configuración de Bodega

$$Sup = (3 \times 1,4m + 5m) \times (6 \times 1,4m) = 77,28m^2$$

### 3.2. Problema 2

Para la operacioón de su CD de operación de verano, suponga que le toma 1.2 minutos hacer un pick en la zona frontal y 1.6 minutos hacer un 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, rankings y ubicaciones de cada SKU. Considere que sólo dispone de 12 posiciones para pick.

SKU	Picks	Dda(pallets)	Dda pallets completos	#Min(Pallets)	#Max(Pallets)
A	250	24	14	4	22
B	070	06	18	1	08
C	147	13	24	2	13
D	093	21	04	5	25

**Solución:**  $li$  = minimo cantidad de posiciones necesarias  $ui$  = máxima cantidad de posiciones necesarias  
Ambos para una profundidad de 3 pallets.

$L_i$	$U_i$
2	8
1	3
1	5
2	9

Tabla 1: Caption

Lo cual se calcula con el número de pallet (max y min) sobre la profundidad de 3 pallets.  
Para cada SKU proseguimos en calcular lo siguiente:

$$\text{Beneficio-min} = \frac{s_i \cdot P_i - C_{ri} \cdot d_i}{L_i}$$

$$\text{Beneficio-adicional} = \frac{s_i \cdot D_i + C_{ri} \cdot d_i}{U_i - L_i}$$

$$\text{Beneficio-maximo} = \frac{s_i \cdot (P_i + D_i)}{U_i}$$

Donde  $s_i$  corresponde al ahooro de tiempo por pick,  $C_{ri}$  corresponde al tiempo necesario para reponer,  $d_i$  es la demanda y  $D_i$  corresponde a la demanda de pallets completos

Beneficio	Mínimo	Adicional	Máximo
A	8	14.93	13.20
B	7	14.10	11.73
C	13.3	13.78	13.68
D	-18.15	10.73	4.31

Tabla 2: Caption

Luego se ordenan por beneficio, dónde para cada SKU solo puede estar el máximo o el mínimo y el adicional. Las ubicaciones necesarias son L si es mínimo, U si es máximo y U-L si es adicional.

Luego como disponemos solamente de 12 posiciones para pick frontal nos quedamos con las tres primeras categorías de la tabla.



	Beneficio	Ubicación
A Adic	14.93	6
B Adic	14.10	2
C Adic	13.78	4
C Max	13.68	5
C Min	13.30	1
A Max	13.20	8
B Max	11.73	3
D Adic	10.73	7
A Min	8.00	2
B Min	7.00	1
D Max	4.31	9
D Min	-18.15	2

### 3.3. Problema 3

Finalmente, el CD dispone de un volumen de 1.900 m<sup>3</sup>, en un área de picking rápido que se surte de un área de reserva. Por políticas de la empresa todos los SKU deben ingresar a esta área y actividad está dada de la siguiente manera:

SKU	Pick/mes	un/mes	un/caja	m <sup>3</sup> /caja
A	780	4,600	25	4.5
B	610	1,150	17	4
C	300	2,100	11	3
D	480	2,900	20	2

- ¿Cuánto espacio se le asigna a cada una?
- ¿Con qué frecuencia se deben reponer si se hace al mismo tiempo?
- Explique cómo varían los resultados obtenidos si ahora se asignan los SKU con igual espacio e igual tiempo.

**Solución:** a)

$$f_i = \frac{un/mes}{un/caja} \cdot \frac{m^3}{caja}$$

Determinamos el flujo de cada SKU

$$V_i = \frac{f_i}{\sum f_i} \cdot V_{Total}$$

Determinamos el espacio de cada producto.

LOs resultados los tabulamos en la siguiente tabla:

b)

$$frec_i = \frac{f_i}{V_i}$$

c) Al asignar el mismo espacio a cada producto, debemos dividir el volumen total por la cantidad de SKU que tengamos, de esta forma obtenemos el volumen por SKU. CON esta nueva información podemos volver a calcular las frecuencias y ver que ocurre con los resultados.

SKU	Flujo m3/mes	Volúmen m3
A	828	634.35
B	270.58	362.73
C	572.72	527.58
D	290	375.42

Tabla 3: Flujos y volúmenes de cada SKU

SKU	Frecuencia rep/mes
A	1.3
B	0.74
C	1.08
D	0.77

Tabla 4: Frecuencias

SKU	Frecuencia rep/mes
A	1.74
B	0.56
C	1.2
D	0.61

Tabla 5: Frecuencias

### 3.4. Problema 4

Dadas las políticas de optimización de procesos ING desea diseñar un nuevo CD. En este trabajarán 12 personas, 8 horas al día, 250 días al año. La tasa de servicio de cada operador es de 9 minutos por pallet. Por razones de logística usted desea mantener, en promedio, una rotación de 1.5 meses. Los pallets miden 1.4 X 1.2 X 1 m3, ancho largo y alto, respectivamente. Sin embargo por razones de seguridad, la altura no puede sobrepasar los 5 m de altura.

- Calcule la tasa de servicio del CD.
- Capacidad de pallet en CD.
- Calcule el área del terreno que comprará.
- Calcule la capacidad del CD en m3, sin considerar pasillos.

#### Solución:

a)

$$\lambda = 12 \frac{per}{per} \cdot 8 \frac{hora}{per} \cdot día \cdot 250 \frac{día}{año} \cdot \frac{1pallet}{9/60horas} = 160,000 \frac{pallet}{año}$$

b)

$$Capacidad = \frac{8 \frac{rotaciones}{año}}{\lambda} = 20,000 \text{pallets}$$

c)

$$Superficie = Capacidad / (Altura \times ancho \times pallet \times largo \times pallet) = 6,720m^2$$

d)

$$Volumen = Superficie \times altura = 33,600m^3$$

### 3.5. Problema 5

Describe ventajas y desventajas del almacenamiento compartido sobre el dedicado.

#### Solución:

#### Ventajas:

- Mayor aprovechamiento de espacio disponible: al no tener posiciones reservadas para cada producto, al desocuparse una posición se puede reasignar a otro producto, sin tener que esperar por el tiempo de reposición.
- Un producto puede estar en más de una posición, ocupando superficies menores en cada posición. Permite que se desocupen posiciones de forma más frecuente, las que son reasignadas.

#### Desventajas:

- Las posiciones de los productos cambian: los trabajadores tienen mayores dificultades con aprender las posiciones, por lo que deben ser guiados por el sistema informático de la bodega.
- Mayor complejidad de administrar: ya que agrega otros factores a considerar, como: elegir la posición a la que conviene ir a buscar un producto (el más cercano, el con menor cantidad, entre otros), trade-off entre reducir tiempo o espacio, etc. Esto exige mejores sistemas informáticos y mayor disciplina de los trabajadores para que funcione correctamente. (Bartholdi, Warehouse Distribution Science, página 15)

### 3.6. Problema 6

Usted está diseñando una bodega de pallets a piso cuyos pasillos son de 4,2 m de ancho. Los pallets son de 1,2 m x 1 m y se ubican con la cara más angosta hacia el pasillo. Asuma que cada SKU tiene una demanda constante y es reordenado de acuerdo al ciclo de pedido a continuación:

SKU	Cantidad de pallets pedidos	Altura de apilado(pallets)	Ciclo de pedido(semanas)
A	32	1	5
B	28	2	4
C	14	3	6

1. Para cada SKU determina la profundidad óptima para ser guardado
2. Para todas las SKU determine una profundidad óptima única

#### Solución 1:

Usando la formula:

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

Donde  $a$  representa la razón entre el ancho del pasillo y el ancho del pallet (el largo de la cara que no da hacia el pasillo),  $q_i$  es la cantidad ordenada, y  $z_i$  es la altura de los pallets. Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6: Resultados

SKU	Profundidad
A	7.48
B	4.95
C	2.86

### Solución 2:

Ahora la profundidad óptima es la siguiente:

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

En esta parte, como el ciclo de pedido es distinto para cada SKU, debemos encontrar un mínimo común múltiplo para los ciclos, en este caso 60, y ponderar de acuerdo a eso. Si todos tuviesen el mismo ciclo, se utiliza la fórmula y el  $n$  sería igual a 3 (porque tenemos 3 SKU).

$$profundidad = \sqrt{\frac{3,5 * 1}{2 * 60} * 12 * \frac{32}{1} + 15 * \frac{28}{2} + 10 * \frac{14}{3}} = 4,3227$$

### 3.7. Problema 7

Varias preguntas conceptuales:

1. **Verdadero o Falso:** Una bodega bajo un esquema de asignación de espacio dedicada u organizada tiene una utilización levemente superior al 50

**Solución:** Falso, Una asignación dedicada tiene siempre una eficiencia del 50

2. **Verdadero o Falso:** En una zona de pickeo rápido se recomienda tener todos los SKU de alta rotación.

**Solución:** 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. **Verdadero o Falso:** 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.

**Solución:** Verdadero

### 3.8. Problema 8:

Describe supuestos de las fórmulas de profundidad óptima global para varios SKU.

**Solución:**

1. No considera restricciones físicas de la bodega.
2. Considera un ancho único para el pasillo y la bodega.

3. Hace cálculos basado en el número de pallets completos, no por unidades o pick.
4. Asume que las tasas de ventas relativas de los distintos SKU son iguales.(Bartholdi, Warehouse Distribution Science, página 58)