Resolución de ejercicios prácticos.

Control de la Producción - Ejercicios Resueltos - Control de la Producción - Ejercicios Resueltos.

Ramos, Pablo Ezequiel.

PABLO E. RAMOS

CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

EJERCICIOS RESUELTOS

INGENIERÍA
DEL
ESTUDIANTE

¿QUIÉN SOY?

Mi nombre es **Pablo Ezequiel Ramos** y soy estudiante avanzado de *Ingeniería Industrial* en la *Universidad Nacional de Salta*.

Además de cursar la carrera, me dedico a la enseñanza y elaboración de apuntes físicos y/o digitales de carácter *teórico-práctico* de materias tanto básicas como avanzadas de *Ingeniería Industrial* y relacionadas.

Considero que el valor de los apuntes teniendo en cuenta la *organización, compilación, selección y ejecución* de los temas, ayudará sin dudas a despertar el *autoaprendizaje* y la *proactividad* de cualquier rama que se desee estudiar y profundizar.

Mi proyecto ***INGENIERIA DEL ESTUDIANTE*** está enfocado a brindar consejos y técnicas de estudio, organización y productividad para todo aquel estudiante universitario que busque y desee *mirar más allá* en su paso por la etapa académica en cuestión.

Consultá sobre otros apuntes en:

- **Mi canal de Youtube: *INGENIERÍA DEL ESTUDIANTE***
- **Mi Instagram: *@ingenieriadelestudiante***

¿EN QUÉ CONSISTE ESTE DOCUMENTO?

En este apunte se presentarán ejercicios resueltos de *Administración de Operaciones y Control de la Producción* en forma sistemática y metódica en base a la teoría dada en el apunte *Administración de Operaciones enfocada a la Organización Industrial*.

NOTAS Y ACLARACIONES

- Este documento **NO** tiene relación alguna con la **Cátedra** de **ORGA I**.
- Este documento **NO** reemplaza bajo ningún punto de vista las clases impartidas por los profesores de la materia.
- Este documento **NO** pertenece a la bibliografía dispuesta por la **Cátedra** en cuestión.

Pablo E. Ramos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TEMA 1: PLANEACIÓN AGREGADA

INTRODUCCIÓN BREVE

¿Qué cantidad de determinado artículo y en qué momento se debe producir en los próximos meses a lo largo del año para satisfacer la demanda?

Si nos falta capacidad productiva, ¿recurriremos a horas extra, a la subcontratación o a las entregas con retraso?

Si disponemos de excedente de capacidad productiva, ¿generaremos inventarios u optaremos por la mano de obra ociosa?

Las respuestas a todas estas preguntas las decidiremos a partir del **Plan Agregado de Producción.**

La Planificación Agregada trata de igualar, siempre que sea posible, la capacidad productiva con la demanda, para una determinada familia de productos. Pero dado que la demanda suele no ser homogénea a lo largo del tiempo, el planificador debe decidir qué medidas de ajuste toma para intentar minimizar esas diferencias.

- Puede actuar sobre la *capacidad* mediante:
    - Utilización de inventarios
    - Modificación del volumen de la mano de obra
    - Utilización de trabajadores a tiempo parcial
    - Variación de la tasa de producción mediante horas extras
    - Subcontratación
- Puede actuar sobre la *demanda* mediante:
    - Publicidad
    - Promociones
    - Bajas de precios

EJERCICIO 1. Una empresa puede utilizar en concepto de horas extras un máximo del 10% de la mano de obra regular. Fabrica una única familia de productos. La obtención de cada unidad de dicha familia requiere 1.5 horas estándar de mano de obra y cada operario desarrolla 8 horas diarias. Sabiendo que para el mes de octubre de este año:

- Necesidades de producción: 10.000 unidades
- Días productivos: 20
- Mano de obra: 43 trabajadores

¿Cuál será la producción que puede obtener la empresa en las horas extras del mes de octubre?

Solución

Como nos piden encontrar la producción en las horas extras, podemos plantear lo siguiente:

$$prod_{ext} = 0.10 \times prod_{est}$$

$$prod_{est} = \frac{1u}{1.5hs\ est} \times \frac{8\ hs\ est}{1dia \times 1op} \times 43op \times 20dias = 4587u$$

$$prod_{ext} = 0.10 \times 4587u$$

$$\boldsymbol{prod_{ext} = 459u}$$

EJERCICIO 2. La empresa *Anode S.A* se dedica a la fabricación de una familia de componentes electrónicos semiconductores. La obtención de dicha familia requiere 1.5 horas de mano de obra y cada operario trabaja un promedio de 8 horas diarias. Actualmente la plantilla es la que corresponde a un plan de nivelación de la mano de obra para el primer trimestre del 2021. El inventario en el momento actual es cero.

Los costos calculados por la empresa son los siguientes:

- Hora estándar de mano de obra en jornada regular: $12
- Hora extra de mano de obra: $18
- Hora ociosa de mano de obra: $15
- Contratación: $1000/operario
- Despido: $1400/operario
- Subcontratación: $45/unidad
- Costo de posesión: $3/unidad y mes
- Servicio con retraso: $22/unidad y mes

Otros factores a considerar derivados de la política de la empresa:

- Existe un único turno de trabajo.
- La empresa no desea aumentar la plantilla disponible en el primer trimestre.
- El máximo de horas extras permitidas por convenio es del 10% de las disponibles en jornada regular.
- La empresa no desea realizar ninguna entrega con retraso.
- Todos los costos se consideran lineales y la demanda diaria uniforme y constante.

Determinar el Plan Agregado de Producción para el próximo semestre siguiendo una **estrategia de nivelación de la mano de obra** para el primer trimestre y una **estrategia de caza (mano de obra variable)** para el segundo trimestre con las siguientes consideraciones:

- En caso de exceso de capacidad se deberán acumular inventarios, mientras que en caso contrario, las medidas podrán ser subcontratación u horas extras.
- El inventario final para los meses de marzo, abril, mayo y junio se quiere que sea el siguiente:

	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Inventario final	1000	800	1160	520

El Plan de Necesidades de Producción así como los días productivos de cada mes se exponen a continuación:

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Plan Nec. Prod.	4000	5000	6000	5000	3000	5200
Días productivos	20	19	21	20	21	19

<u>Solución</u>

Primer trimestre (enero a marzo) – Estrategia de nivelación de la M.O

Para determinar el número de trabajadores necesarios, tenemos que requerir a la siguiente fórmula:

$$Prod_{diaria} = \frac{Demanda + Inv.final - Inv.inicial}{Dias\ productivos\ del\ trimestre}$$

$$Prod_{diaria} = \frac{(4000 + 5000 + 6000 + 1000)}{(20 + 19 + 21)}$$

$$Prod_{diaria} = 266.67\ unidades/dia$$

$$Horas_{necesarias} = Prod_{diaria} \times t_{est}$$

$$Horas_{necesarias} = \frac{266.67 unidades}{dia} \times \frac{1.5hs}{unidad} = 400hs/dia$$

Finalmente la mano de obra necesaria diaria:

$$N°op = \frac{\frac{400hs}{dia}}{\frac{8hs}{dia \times operario}}$$

$$N°op = 50\ trabajadores$$

Entonces, la mano de obra para el primer trimestre es de 50 trabajadores. Con esta cantidad debemos determinar la producción regular:

- Enero

$$\frac{50op}{dia} \times \frac{20dias}{mes} \times \frac{8hs}{1op} \times \frac{1unidad}{1.5hs} = 5333\ unidades$$

- Febrero

$$\frac{50op}{dia} \times \frac{19dias}{mes} \times \frac{8hs}{1op} \times \frac{1unidad}{1.5hs} = 5067\ unidades$$

- Marzo

$$\frac{50op}{dia} \times \frac{21dias}{mes} \times \frac{8hs}{1op} \times \frac{1unidad}{1.5hs} = 5600\ unidades$$

Una vez calculadas las producciones requeridas en jornada regular, debemos determinar el costo de mano de obra:

- Enero

$$\frac{5333unidades}{mes} \times \frac{1.5hs\ regular}{1unidad} = 8000hs/mes$$

$$\frac{8000hs}{mes} \times \frac{\$12}{1hs} = \$96000/mes$$

- Febrero

$$\frac{5067unidades}{mes} \times \frac{1.5hs\ regular}{1unidad} = 7600hs/mes$$

$$\frac{7600hs}{mes} \times \frac{\$12}{1hs} = \$91200/mes$$

- Marzo

$$\frac{5600unidades}{mes} \times \frac{1.5hs\ regular}{1unidad} = 8400hs/mes$$

$$\frac{8400hs}{mes} \times \frac{\$12}{1hs} = \$100800/mes$$

Ahora calcularemos el inventario y el costo de posesión:

Regla mnemotécnica:

$$Inv.final = Lo\ que\ tengo - Lo\ que\ necesito$$

$$\boxed{Inv.final = Inv.inicial + Prod.requerida - Demanda}$$

$$Inv.final_{enero} = 0 + 5333 - 4000 = 1333u$$

$$Inv.final_{febrero} = 1333 + 5067 - 5000 = 1400u$$

$$Inv.final_{marzo} = 1400 + 5600 - 6000 = 1000u$$

El costo de posesión se calcula como:

$$\boxed{Cos.pos_{mensual} = Inv.prom_{mensual} \times Cos.pos_{unitario}}$$

$$Cos.pos_{enero} = \frac{0 + 1333}{2} \times \$3 = \$2000$$

$$Cos.pos_{febrero} = \frac{1333 + 1400}{2} \times \$3 = \$4100$$

$$Cos.pos_{marzo} = \frac{1400 + 1000}{2} \times \$3 = \$3600$$

Segundo trimestre (abril a junio) – Estrategia de seguimiento

En la estrategia de caza se considera que la fuerza laboral no es constante sino que se ajusta a la previsión de la demanda mensual. Es decir, se contratará o despedirá mano de obra según la demanda.

Por ejemplo, para abril se tiene lo siguiente:

$$Prod.req_{abril} = Inv.final - Inv.inicial + Demanda_{abril}$$

$$Prod.req_{abril} = 800 - 1000 + 5000 = 4800\,unidades$$

Ahora sabemos lo siguiente:

$$N°op_{abril} = \frac{1operario}{\frac{8hs}{dia}} \times a$$

Como en el numerador necesitamos la unidad *operario* debemos simplificar las *horas* del denominador, por lo tanto ya sabemos que a debe tener en el numerador *horas.*

$$a = \frac{4800unidades}{mes} \times \frac{1.5hs}{1unidad} \times \frac{1mes}{20dias} = \frac{360hs}{dia}$$

$$N°op_{abril} = \frac{1dia \times 1operario}{8hs} \times \frac{360hs}{dia}$$

$$N°op_{abril} = 45\,operarios$$

Y así sucesivamente para los siguientes meses:

$$Prod.req_{mayo} = 1160 - 800 + 3000 = 3360\,unidades$$

$$N°op_{mayo} = 30\,operarios$$

$$Prod.req_{junio} = 520 - 1160 + 5200 = 4560\,unidades$$

$$N°op_{mayo} = 45\,operarios$$

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
Demanda	4000	5000	6000	5000	3000	5200	-
Días productivos	20	19	21	20	21	19	-
Trabajadores requeridos	50	50	50	45	30	45	-
Trabajadores contratados	0	0	0	0	0	15	-
Trabajadores despedidos	0	0	0	5	15	0	-
Inventario inicial	0	1333	1400	1000	800	1160	-
Producción requerida	5333	5067	5600	4800	3360	4560	-
Inventario final	1333	1400	1000	800	1160	520	-
Costo trabajo regular	$96000	$91200	$100800	$86400	$60480	$82080	$516960
Costo contratación	0	0	0	0	0	$15000	$15000
Costo despido	0	0	0	$7000	$21000	0	$28000
Costo posesión	$2000	$4100	$3600	$2700	$2940	$2520	$17860
TOTAL	$98000	$95300	$104400	$96100	$84420	$99600	**$577820**

EJERCICIO 3. La empresa *Automack S.A* se dedica a la fabricación de una selección de componentes eléctricos para automóviles. La obtención de cada unidad de dicha familia requiere 2.5 horas de mano de obra y cada operario trabaja un promedio de 8 horas diarias. Actualmente la plantilla de la empresa es de 100 trabajadores. El inventario en el momento actual es de 300 unidades, aunque se desea mantener un stock de seguridad de 20 unidades. Los costos calculados por la empresa son los siguientes:

- Hora estándar de mano de obra en jornada regular: $1200
- Hora extra de mano de obra: $1800
- Hora ociosa de mano de obra: $1300
- Contratación: $150000/operario
- Despido: $190000/operario
- Subcontratación: $5500/unidad
- Posesión mensual: $300/unidad
- Servicio con retraso: $2500/unidad y mes

Otros factores a considerar derivados de la política de la empresa son:

- Existen dos turnos siendo posible el trabajo simultáneo de 50 operarios.
- La empresa no desea aumentar la plantilla disponible.
- El máximo de horas extras permitidas por convenio es del 10% de las disponibles de la jornada regular.
- La empresa no desea realizar ninguna entrega con retraso.

Determine el Plan Agregado de Producción para el próximo semestre siguiendo una **estrategia de nivelación**. En caso de exceso de capacidad se deberán acumular inventarios, y en caso contrario, las medidas de ajuste transitorio a utilizar podrán ser horas extras o subcontratación.

Solución

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
Demanda	8200	5800	7300	5000	7200	8500	-
Días productivos	21	18	23	20	21	22	-
Trabajadores requeridos	100	100	100	100	100	100	-
Trabajadores contratados	0	0	0	0	0	0	-
Trabajadores despedidos	0	0	0	0	0	0	-
Inventario inicial	280	0	0	60	1460	980	-
Producción regular	6720	5760	7360	6400	6720	7040	-
Unidades faltantes	1200	40	0	0	0	480	-
Producción con horas extras	672	40	0	0	0	480	-
Producción subcontratación	528	0	0	0	0	0	-
Inventario final	0	0	60	1460	980	0	-
Costo trabajo regular	$20.160.000	$17.280.000	$22.080.000	$19.200.000	$20.160.000	$21.120.000	$120.000.000
Costo contratación	0	0	0	0	0	0	-
Costo despido	0	0	0	0	0	0	-
Costo posesión	$42000	0	$9000	$228000	$366000	$147000	$792000
Costo horas extras	$3.024.000	$180000	0	0	0	$2.160.000	$5.364.000
Costo subcontratación	$2.904.000	0	0	0	0	0	$2.904.000
TOTAL	$26.130.000	$17.460.000	$22.089.000	$19.428.000	$20.526.000	$23.427.000	**$129.060.000**

Cálculos auxiliares:

- Producción semestral a satisfacer:

$$Prod_{semestre} = \sum D_i - Inventario\ disponible$$

$$Prod_{semestre} = 42000 - 280 = 41720\ unidades/semestre$$

- Producción diaria a satisfacer:

$$Prod_{diaria} = \frac{41720\ unid}{semestre} \times \frac{1semestre}{125dias} = 333.76\ unidades/dia$$

- Número de trabajadores necesarios:

$$N°op = \frac{1operario}{\frac{8hs}{dia}} \times \frac{333.76unid}{dia} \times \frac{2.5hs}{1unid}$$

$$N°op = 104.3\ operarios$$

Pero la empresa no desea aumentar su plantilla actual de 100 trabajadores, por lo tanto en algunos meses será necesario recurrir a las horas extraordinarias o a la subcontratación.

- Producción regular para enero:

$$\frac{1unidad}{2.5hs} \times \frac{8hs}{1dia \times 1operario} \times 21dias \times 100operarios = 6720\ unidades$$

Como se necesita 8200 y se dispone de (6720 + 280) unidades, entonces se deberá recurrir a la subcontratación o a las horas extras. Determinemos entonces las necesidades no cubiertas:

$$Unid_{faltantes} = 8200 - 6720 - 280 = 1200\ unidades$$

Ahora resta determinar si se subcontratará o se pedirá horas extras, para ello veamos cuál costo unitario es menor:

$$Costo\ unitario_{sub} = \$5500/unidad$$

$$Costo\ unitario_{hs,extras} = \frac{\$1800}{hs} \times \frac{2.5hs}{unidad} = \frac{\$4500}{unidad}$$

Como el costo unitario en horas extras es menor, se procederá a emplear dicha estrategia para alcanzar las necesidades del mes.

$$Unid_{hs,extras} = 0.10 \times 6720\, unidades = 672\, unidades$$

Ahora se tiene:

$$Unid_{producidas} = 6720 + 672 + 280 = 7672\, unidades$$

Como aún no se cubre la demanda de 8200, deberemos completar las unidades faltantes con subcontratación.

$$Unid^{*}_{faltantes} = 8200 - 7000 = 528\, unidades$$

Se repite la analogía para los restantes meses.

TEMA 2: PLANIFICACIÓN Y CONTROL A MUY CORTO PLAZO

INTRODUCCIÓN BREVE

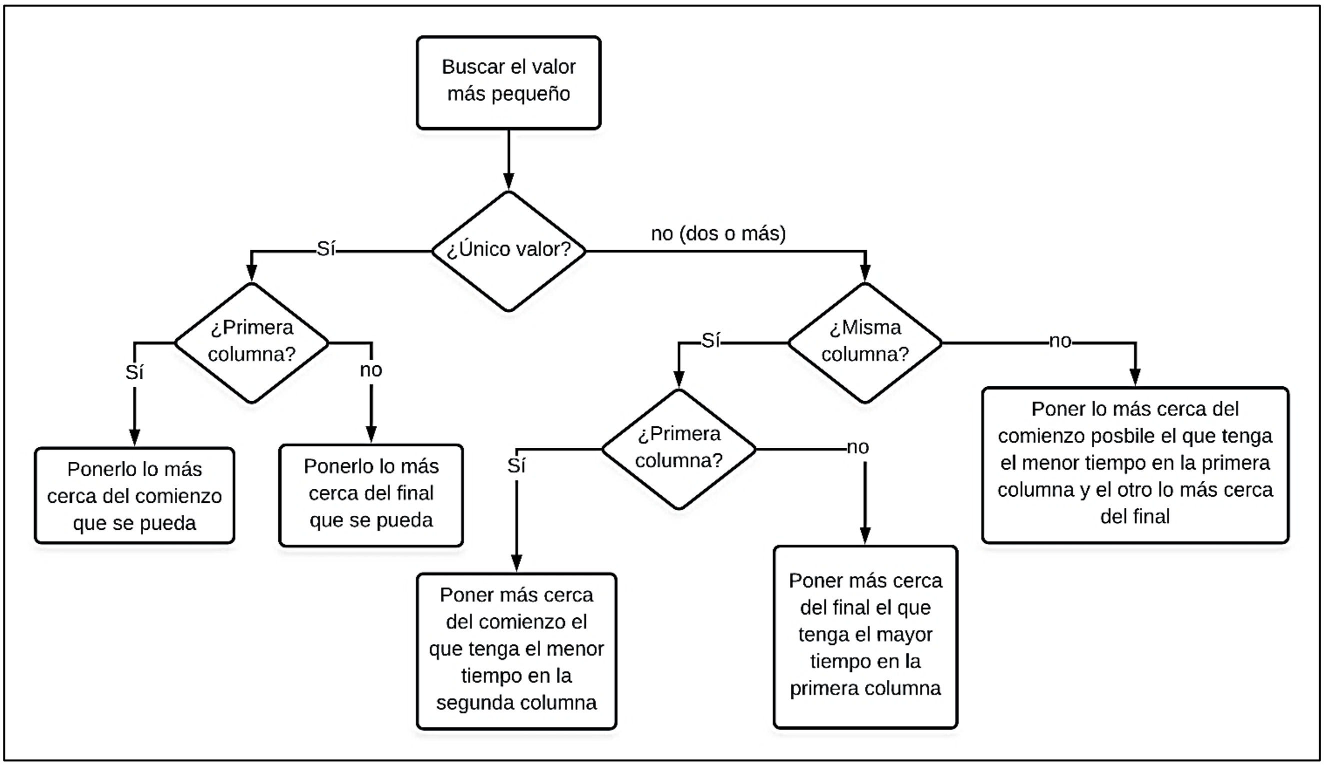
En esta etapa queremos responder a las preguntas:

- ¿Qué pedidos asignaremos a cada estación de trabajo?
- ¿En qué orden debe realizarse? ¿´Por qué pedido empezaremos?
- ¿Cuáles son las fechas de inicio y finalización de cada operación?

EJERCICIO 1. Determine la secuencia óptima para el siguiente caso.

	M1	M2
P1	6	3
P2	2	9
P3	4	3
P4	1	8
P5	7	1
P6	4	5
P7	7	6

Para resolver este ejercicio se recurrirá al **algoritmo de Johnson para 2 máquinas**:



- 1° iteración: $P4 - A - B - C - D - E - P5$
- 2° iteración: $P4 - P2 - B - C - D - E - P5$
- 3° iteración: $\boldsymbol{P4 - P2 - P6 - P7 - P3 - P1 - P5}$

EJERCICIO 2. Determinar la secuencia óptima para los seis trabajos que deben pasar por dos máquinas. Los tiempos de proceso son:

	M1	M2
P1	4	6
P2	8	2
P3	1	3
P4	7	9
P5	4	2
P6	5	10

Solución

- 1° iteración: $P3 - A - B - C - D - E$
- 2° iteración: $P3 - A - B - C - P5 - P2$
- 3° iteración: $P3 - P1 - B - C - P5 - P2$
- 4° iteración: $\boldsymbol{P3 - P1 - P6 - P4 - P5 - P2}$

EJERCICIO 3. Determinar la secuencia óptima para los seis trabajos que deben pasar por dos máquinas. Los tiempos de proceso son:

	M1	M2
P1	4	3
P2	5	4
P3	3	2
P4	6	4
P5	7	6
P6	2	6

Solución

- 1° iteración: $P6 - A - B - C - D - P3$
- 2° iteración: $P6 - A - B - C - P1 - P3$
- 3° iteración: $P6 - P5 - P2 - P4 - P1 - P3$

EJERCICIO 4. Determine la secuencia óptima para el siguiente problema.

	M1	M2	M3
P1	4	6	8
P2	9	5	10
P3	8	3	6
P4	6	3	7
P5	5	2	11

Solución

Con 3 o más máquinas, el algoritmo de Johnson no es óptimo. Excepto para algunos casos especiales: cuando la máquina intermedia está **dominada**.

Una máquina intermedia está dominada cuando su tiempo de procesamiento más largo es menor o igual que el tiempo de procesamiento más corto de **alguna*** de las otras dos máquinas.

Es decir, se tienen que cumplir **al menos** una de las siguientes condiciones:

$$t_{1,min} \geq t_{2,max}$$

o

$$t_{3,min} \geq t_{2,max}$$

*En la *Cátedra de ORGA I* se estableció que se deben cumplir las dos condiciones **simultáneamente**. En los siguientes ejercicios no consideraremos dicha decisión para probar el acercamiento a la solución óptima.

Dicho esto, veamos si se cumple la primera condición:

$$t_{1,min} = 4$$

$$t_{2,max} = 6$$

Como $t_{1,min}$ es menor que t_{2max} entonces no se cumple la primera condición, pero $t_{3,min}$ es igual a 6 y por lo tanto si se cumple la segunda condición y se podrá trabajar con el algoritmo de Johnson para 2 máquinas, siendo M1' y M2' máquinas ficticias.

Para determinar los tiempos de M1' se deberán sumar para cada trabajo los tiempos de las máquinas M1 y M2; para determinar los tiempos de M2' se deberán sumar para cada trabajo los tiempos de las máquinas M2 y M3.

	M1'	**M2'**
P1	10	14
P2	14	15
P3	11	9
P4	9	10
P5	7	13

- 1° iteración: $P5 - A - B - C - D$
- 2° iteración: $P5 - P4 - B - C - P3$
- 3° iteración: $\boldsymbol{P5 - P4 - P1 - P2 - P3}$

TEMA 3: EQUILIBRADO DE PUESTOS DE TRABAJO

INTRODUCCIÓN BREVE

En los primeros años de la industrialización se descubrió que un producto (obtenido a partir del montaje de varios componentes) podría ser ensamblado de forma mucho más rápida y económica dividiendo el trabajo total en tareas individuales y asignando estas tareas a diferentes operarios.

El producto irá pasando por los diferentes puestos de trabajo a cargo de los diferentes operarios. Éstos ejecutarán el conjunto de trabajos sobre cada unidad de producto, a medida que ésta pasa por el puesto de trabajo.

Los problemas de equilibrado de línea tratan de asignar iguales cantidades de trabajo a cada operario, para que no exista tiempo ocioso o muerto en la línea de ensamblaje.

EJERCICIO 1. Considere una línea de producción con 4 actividades y los siguientes tiempos de producción por actividad para un producto X.

ELEMENTO DE TRABAJO	PRECEDENCIA	TIEMPO DURACIÓN
1	-	4
2	1	3
3	2	2
4	3	5

Calcule la tasa de producción o capacidad de producción en una hora considerando:

a) Un solo operario
b) Dos operarios
c) Tres operarios
d) Cuatro operarios

Solución

a) La tasa de producción se determina como:

$$TP = \frac{1}{t_c}$$

Donde t_c es el tiempo de ciclo de la línea y se calcula como:

$$t_c = max\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$$

Siendo O_i el tiempo que tarda el operario i en realizar todas las actividades que el han sido asignadas.

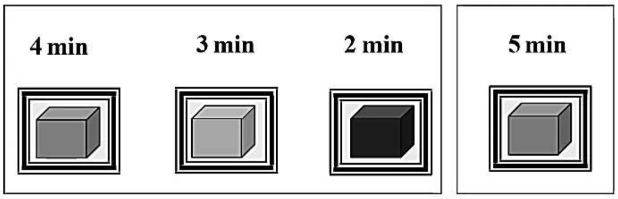
Entonces:

$$O_1 = 4 + 3 + 2 + 5 = 14min$$

Y como sólo se dispone de un solo operario, el tiempo de ciclo de la línea es de 14 minutos. Por lo tanto la tasa de producción en una hora:

$$TP = \frac{1}{\frac{14min}{unid}} = \frac{0.071unid}{min} \times \frac{60min}{1h} = 4.28unid/h$$

b) Ahora se dispone de dos operarios, agrupando las tareas de la siguiente manera:



Siendo:

$$O_1 = 9min$$

$$O_2 = 5min$$

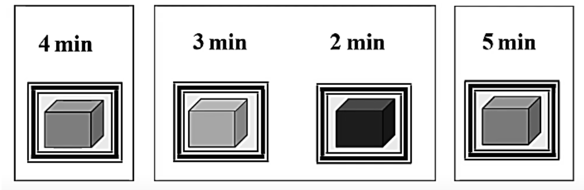
Y por tanto:

$$t_c = 9min$$

Ahora la tasa de producción es:

$$TP = \frac{1}{\frac{9min}{unid}} = \frac{0.11unid}{min} \times \frac{60min}{1h} = 6.66unid/h$$

c) Si ahora se dispone de tres operarios:



$$O_1 = 4min$$

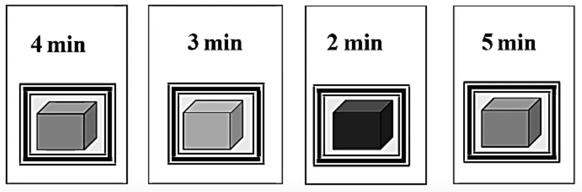
$$O_2 = 5min$$

$$O_3 = 5min$$

Por lo tanto el tiempo de ciclo de la línea es de 5 minutos y la tasa de producción:

$$TP = \frac{1}{\frac{5min}{unid}} \times \frac{60min}{1h} = 12unid/h$$

d) Si se dispone de cuatro operarios:



$$O_1 = 4min$$

$$O_2 = 3min$$

$$O_3 = 2min$$

$$O_4 = 5min$$

Siendo el tiempo de ciclo de la línea de 5 minutos y la tasa de producción es 12 unidades por hora.

Podemos dar las siguientes conclusiones:

- El **tiempo de ciclo de la línea** es el tiempo más largo de una estación entre todas las estaciones.
- El **tiempo de ciclo de la línea** no es lo mismo que el **tiempo de ciclo requerido.**
- La idea de balancear la línea es justamente que estos tiempos sean iguales y por lo tanto el tiempo muerto sea cero.

El **tiempo ciclo requerido** es el tiempo que debería permanecer el producto en cada estación de trabajo.

$$c = \frac{Tiempo\ de\ produccion\ disponible\ por\ dia}{Produccion\ diaria\ requerida}$$

La **eficiencia** es la medida de desempeño del balanceo:

$$EF_{real} = \frac{\sum t_i}{N_{real} \times c}$$

$$EF_{max} = \frac{\sum t_i}{N_{teo} \times c}$$

El **tiempo muerto** se define como:

$$t_m = (N_{real} \times c) - \sum t_i$$

Las **reglas de decisión** para el balanceo de la línea son:

- Menor número de predecesores
- Tiempo más largo de la tarea
- Mayor número de sucesores

EJERCICIO 2. Una pieza debe montarse en una cadena que se ha descompuesto en 9 elementos de trabajo, cuyos tiempos de duración (en minutos) y relaciones de precedencia se expresan en la siguiente tabla:

ELEMENTO DE TRABAJO	PRECEDENCIA	TIEMPO DURACIÓN
1	-	6
2	1	5
3	1	2
4	3	7
5	3	1
6	4,5	2
7	6	3
8	2,7	4
9	8	4

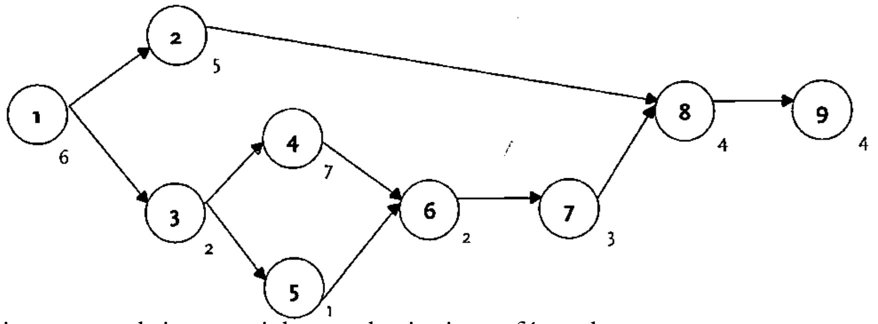
Las características de la pieza exigen que existan por lo menos 4 estaciones de trabajo en la cadena de montaje. La empresa debe satisfacer una demanda anual de la pieza de 36.000 unidades de forma regular. La jornada anual por turno de trabajo es de 1800 horas. Teniendo en cuenta que:

- Cada estación de trabajo sólo puede ser atendida por un operario.
- Los tiempos de ciclo (en minutos) deben ser números enteros.
- Las estaciones de trabajo están colocadas secuencialmente.

a) Equilibrar la línea de ensamblaje
b) Calcular la eficiencia de la línea.

Solución

Primero realizaremos el Diagrama de Precedencias:



a) Determinaremos el tiempo ciclo con la siguiente fórmula:

$$N_{teo} = \frac{\sum t_i}{c}$$

Despejando el tiempo ciclo:

$$c = \frac{\sum t_i}{N_{teo}} = \frac{34min}{4} = 9min$$

Definiremos las reglas de decisión:

- Regla primaria: *mayor tiempo de tarea* y que no sobrepase al tiempo disponible
- Regla secundaria: *mayor número de sucesores* y que no sobrepase al tiempo disp.

La regla secundaria se aplica cuando haya empate en la Regla primaria, por ejemplo que la tarea X e Y tengan el mismo tiempo de tarea.

ESTACIÓN I

- Tiempo disponible de la estación: 9
- Tareas sin problema de precedencia: 1
- Se escoge 1
- Tiempo disponible después de la asignación: 3
- Tareas sin problema de precedencia: 2,3
- Se escoge 3
- Tiempo disponible después de la asignación: 1
- Tareas sin problema de precedencia: 2,4,5
- Se escoge 5
- Tiempo disponible después de la asignación: 0

ESTACIÓN II

- Tiempo disponible de la estación: 9
- Tareas sin problema de precedencia: 2,4
- Se escoge 4
- Tiempo disponible después de la asignación: 2
- Tareas sin problema de precedencia: 2,6
- Se escoge 6
- Tiempo disponible después de la asignación: 0

ESTACIÓN III

- Tiempo disponible de la estación: 9
- Tareas sin problema de precedencia: 2,7
- Se escoge 2
- Tiempo disponible después de la asignación: 4
- Tareas sin problema de precedencia: 7
- Se escoge 7
- Tiempo disponible después de la asignación: 1

ESTACIÓN IV

- Tiempo disponible de la estación: 9
- Tareas sin problema de precedencia: 8
- Se escoge 8
- Tiempo disponible después de la asignación: 5
- Tareas sin problema de precedencia: 9
- Se escoge 9
- Tiempo disponible después de la asignación: 1

ESTACIÓN	TAREAS	TIEMPO MUERTO
I	1,3,5	0
II	4,6	0
III	2,7	1
IV	8,9	1
	TOTAL	**2**

Verifiquemos si se cumple la fórmula del tiempo muerto:

$$t_m = (N_{real} \times c) - \sum t_i$$

$$t_m = (4 \times 9) - 34$$

$$t_m = 2$$

b) La eficiencia de la línea:

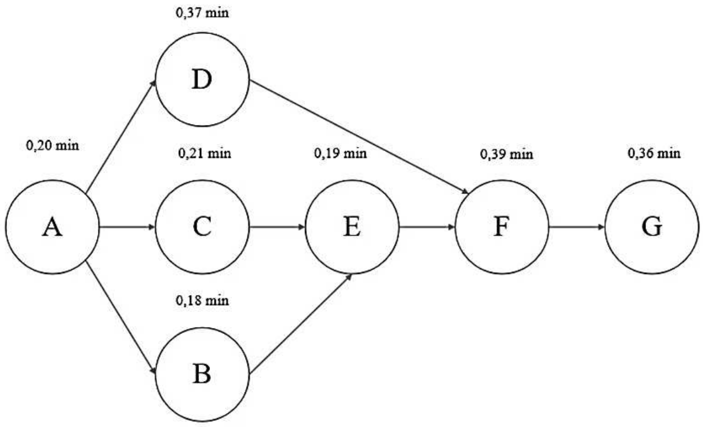
$$EF_{real} = \frac{34}{(4 \times 9)} = 94.4\%$$

EJERCICIO 3. La producción diaria deseada para una línea de ensamble es de 1200 unidades. Esta línea funcionará 8 horas al día. La siguiente tabla contiene información sobre las tareas requeridas para dicho producto, el tiempo de las tareas en minutos y las relaciones de precedencia. Equilibre la línea y determine la eficiencia de la misma.

TAREA	TIEMPO DURACIÓN	PRECEDENCIA
A	0.2	-
B	0.18	A
C	0.21	A
D	0.37	A
E	0.19	C,B
F	0.39	D,E
G	0.36	F

Solución

El diagrama de precedencia:



Primero calculamos el tiempo de ciclo requerido como:

$$c = \frac{\left(\frac{8h}{dia}\right) \times \left(\frac{60min}{1h}\right)}{\frac{1200unid}{dia}} = 0.4min/unid$$

El número de estaciones teórico:

$$N_{teo} = \frac{1.9min}{0.4min} = 4.75 \cong 5$$

Definiremos las reglas de decisión:

- Regla primaria: *mayor tiempo de tarea* y que no sobrepase al tiempo disponible
- Regla secundaria: *mayor número de sucesores* y que no sobrepase al tiempo disp.

La regla secundaria se aplica cuando haya empate en la Regla primaria, por ejemplo que la tarea X e Y tengan el mismo tiempo de tarea.

ESTACIÓN I

- Tiempo disponible de la estación: 0.4
- Tareas sin problema de precedencia: A
- Se escoge A
- Tiempo disponible después de la asignación: 0.2
- Tareas sin problema de precedencia: B,C,D
- Se escoge B
- Tiempo disponible después de la asignación: 0.02

ESTACIÓN II

- Tiempo disponible de la estación: 0.4
- Tareas sin problema de precedencia: C,D
- Se escoge D
- Tiempo disponible después de la asignación: 0.03

ESTACIÓN III

- Tiempo disponible de la estación: 0.4
- Tareas sin problema de precedencia: C
- Se escoge C
- Tiempo disponible después de la asignación: 0.19

- Tareas sin problema de precedencia: E
- Se escoge E
- Tiempo disponible después de la asignación: 0

ESTACIÓN IV

- Tiempo disponible de la estación: 0.4
- Tareas sin problema de precedencia: F
- Se escoge F
- Tiempo disponible después de la asignación: 0.01

ESTACIÓN V

- Tiempo disponible de la estación: 0.4
- Tareas sin problema de precedencia: G
- Se escoge G
- Tiempo disponible después de la asignación: 0.04

ESTACIÓN	TAREAS	TIEMPO MUERTO
I	A,B	0.02
II	D	0.03
III	C,E	0
IV	F	0.01
V	G	0.04
	TOTAL	**0.1**

La eficiencia de la línea se calcula como:

$$EF = \frac{\sum t_i}{N_{real} \times c} = \frac{1.9}{5 \times 0.4} = 95\%$$

Para verificar el tiempo muerto:

$$t_m = (N_{real} \times c) - \sum t_i$$

$$t_m = (5 \times 0.4) - 1.9$$

$$t_m = 0.1$$

TEMA 4: CAPACIDAD

EJERCICIO 1. Una empresa trabaja diariamente en dos turnos de ocho horas cada turno los cinco días de la semana. Una sección de dicha empresa consta de cuatro máquinas que se utilizan el 70% del tiempo con una eficiencia del sistema del 90%. Determine el output de la sección por semana.

Solución

$$\frac{2turnos}{dia} \times \frac{8horas}{turno} \times \frac{5dias}{semana} \times 4maquinas \times 0.7 \times 0.9 = 201.6hs/semana$$

EJERCICIO 2. La capacidad proyectada diaria de una sección de una empresa es de 100 unidades siendo la capacidad efectiva diaria de la misma de 80 unidades y el output diario de dicha sección 60 unidades.

a) Calcule la utilización y la eficiencia de la sección
b) Determine el output del próximo mes sabiendo que la eficiencia esperada sea del 90%

Solución

a) La utilización se calcula como el cociente entre la producción real y la capacidad proyectada.

$$Util = \frac{Prod.real}{Cap_{proy}} = \frac{\frac{60unid}{dia}}{\frac{100unid}{dia}} = 60\%$$

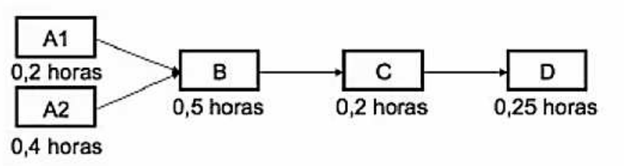
La eficiencia se calcula como el cociente entre la producción real y la capacidad efectiva.

$$EF = \frac{Prod.real}{Cap_{efec}} = \frac{\frac{60unid}{dia}}{\frac{80unid}{dia}} = 75\%$$

b) La producción real sabiendo que la eficiencia es del 90%:

$$Prod.real = 0.90 \times \frac{80unid}{dia} = 72unid/dia$$

EJERCICIO 3. El gráfico muestra el proceso de fabricación de un producto a partir de dos componentes que se obtienen en las estaciones de trabajo A1 y A2. Dichos componentes son ensamblados en la estación B y posteriormente procesados en las estaciones C y D. Los tiempos de cada estación de trabajo indican la cantidad de trabajo que debe realizar el trabajador en dicha estación para cada unidad de producto. Calcule la capacidad de producción de dicho proceso.



Solución

En una tabla expondremos la capacidad de cada estación de trabajo recordando que ésta se define como la cantidad de unidades producidas por unidad de tiempo. En nuestro caso, sería unidades/hora.

PROCESO	HORAS	CAPACIDAD
A1	0.2	$1/0.20 = 5unid/h$
A2	0.4	$1/0.40 = 2.5unid/h$
B	0.5	$1/0.50 = 2unid/h$
C	0.2	$1/0.20 = 5unid/h$
D	0.25	$1/0.25 = 4unid/h$

Una vez que se tiene la capacidad de cada estación de trabajo, para determinar la capacidad de todo el proceso de producción se deberá identificar el *cuello de botella*, es decir, aquella estación de trabajo que disponga de la menor capacidad.

$$Cap_{proceso} = min(Cap_{A1}, Cap_{A2}, Cap_B, Cap_C, Cap_D)$$

$$Cap_{proceso} = Cap_B = 2unid/h$$

TEMA 5: PRODUCTIVIDAD

EJERCICIO 1. El producto obtenido en un determinado proceso vale $10 cada unidad. El costo de la mano de obra empleada en dicho proceso es de $20 por hora el oficial de primera y $10 por hora el ayudante. Dicho proceso emplea 10 minutos en la fabricación de una pieza. Determine cual es el valor añadido por hora de dicho proceso.

Solución

Para calcular el valor añadido por hora de dicho proceso:

$$VA = Salida - Entrada$$

La $Salida$ del proceso la calcularemos como:

$$Salida = Productividad \times Costo_{unitario}$$

Siendo

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Recursos} = \frac{1unidad}{10min} \times \frac{60min}{1h} = 6unid/h$$

$$Salida = \frac{6unid}{h} \times \frac{\$10}{unid} = \$60/h$$

La $Entrada$ del proceso la calcularemos como:

$$Entrada = \frac{\$20}{h_{oficial}} + \frac{\$10}{h_{ayud}} = \frac{\$30}{h}$$

Por lo tanto el valor añadido al proceso:

$$VA = \frac{\$60}{h} - \frac{\$30}{h} = \frac{\$30}{h}$$

EJERCICIO 2. El gerente de una empresa dedicada a la fabricación de pantallas LED para monitores de seguridad espera para el 2021 un incremento en la demanda del 20%. El año pasado se fabricaron 18000 pantallas siendo la productividad de 0.5 pantallas por hora. Para incrementar la producción el gerente necesita contratar más personal, sabiendo que cada empleado trabaja 150 horas al mes, calcule el número de trabajadores que debe contratar para satisfacer la demanda.

Solución

Como nos piden el número de trabajadores que se deben contratar sólo nos interesa calcular el 20% de la demanda, es decir:

$$\frac{18000unid}{año} \times 0.20 = 3600unid/año$$

Entonces:

$$N°trab_{contratados} = \frac{1trab}{\frac{150hh}{mes} \times \frac{12meses}{1año}} \times \frac{1hh}{0.5unid} \times \frac{3600unid}{año} = 4trabajadores$$

EJERCICIO 3. El tiempo estándar asignado a la fabricación de una pieza es de 500 diezmilésimas de hora. Un operario en un turno de ocho horas ha fabricado 200 piezas. Determine la productividad alcanzada por el operario así como su desviación respecto a la productividad estándar establecida.

Solución

$$Productividad_{estand} = \frac{1pieza}{500diezmilesimas} \times \frac{10000diezmilesimas}{1h} = 20piezas/h$$

$$Productividad_{operario} = \frac{200piezas}{8h} = 25piezas/h$$

En definitiva, la desviación de la productividad se calcula como:

$$\Delta Productividad = \frac{Productividad_{operario} - Productividad_{estand}}{Productividad_{estand}} \times 100\%$$

$$\Delta Productividad = \frac{25-20}{20} \times 100\% = 25\%$$

EJERCICIO 4. En el 2020 una empresa tenía 60 trabajadores, cada uno de los cuales trabajó 8 horas diarias, 5 días a la semana, durante 48 semanas, logrando una producción de 230400 unidades. Este año se jubilaron 10 trabajadores, los restantes trabajaron el mismo número de horas alcanzando una producción anual de 288000 unidades. Calcule el incremento de productividad conseguido por la empresa.

Solución

Primero calcularemos la productividad del 2020:

$$Productividad_{2020} = \frac{Unidades\ producidas}{Recursos}$$

Las unidades producidas durante el año:

$$Unidades\ producidas = \frac{230400unid}{año}$$

Los recursos empleados se determinan como:

$$Recursos = \frac{8h}{dia \times trab} \times 60trab \times \frac{5dias}{semana} \times \frac{48semanas}{año} = 115200hh/año$$

Por lo tanto:

$$Productividad_{2020} = \frac{230400unid}{115200hh} = 2unid/hh$$

Ahora calcularemos la productividad del 2021:

$$Prodcutividad_{2021} = \frac{\frac{288000unid}{año}}{\frac{8h}{dia \times trab} \times 50trab \times \frac{5dias}{semana} \times \frac{48semanas}{año}} = 3unid/hh$$

El incremento de productividad:

$$\Delta Productividad = \frac{3-2}{2} \times 100\% = 50\%$$

TEMA 6: PROGRAMACIÓN LINEAL

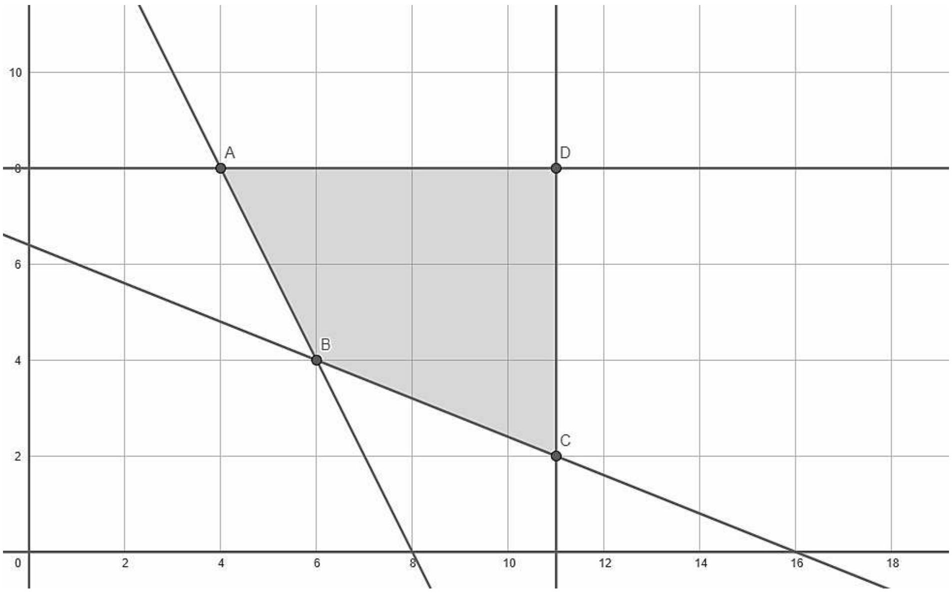
EJERCICIO 1. Se quiere organizar un puente aéreo entre dos ciudades, con plazas suficientes de pasaje y carga, para transportar a 1600 personas y 96 toneladas de equipaje. Los aviones disponibles son de dos tipos: 11 del tipo A y 8 del tipo B. La contratación de un avión del tipo A, que puede transportar a 200 personas y 6 toneladas de equipaje, cuesta \$4000; la contratación de uno del tipo B, que puede transportar a 100 personas y 15 toneladas de equipaje cuesta \$1000 ¿Cuántos aviones de cada tipo deben utilizarse para que el costo sea mínimo?

Solución

- X_A: aviones tipo A a contratar
- X_B: aviones tipo B a contratar

FUNCIÓN A MINIMIZAR	RESTRICCIONES
$Z = 4000X_A + 1000X_B$	1. $X_A \leq 11$
	2. $X_B \leq 8$
	3. $200X_A + 100X_B \geq 1600$
	4. $6X_A + 15X_B \geq 96$
	5. $X_A \geq 0$
	6. $X_B \geq 0$

Procederemos a graficar las restricciones, siendo el eje de las "x" el correspondiente a X_A y el eje de las "y" el correspondiente a X_B.



SOLUCIONES DE ESQUINA	FUNCIÓN EVALUADA
A: (4,8)	$Z_A = 4000 \times \mathbf{4} + 1000 \times \mathbf{8} = \$24000$
B: (6,4)	$Z_B = 4000 \times \mathbf{6} + 1000 \times \mathbf{4} = \$28000$
C: (11,2)	$Z_C = 4000 \times \mathbf{11} + 1000 \times \mathbf{2} = \$46000$
D: (11,8)	$Z_D = 4000 \times \mathbf{11} + 1000 \times \mathbf{8} = \$52000$

Se deberá contratar 4 aviones del tipo A y 8 aviones del tipo B para tener un costo mínimo óptimo de \$24000.

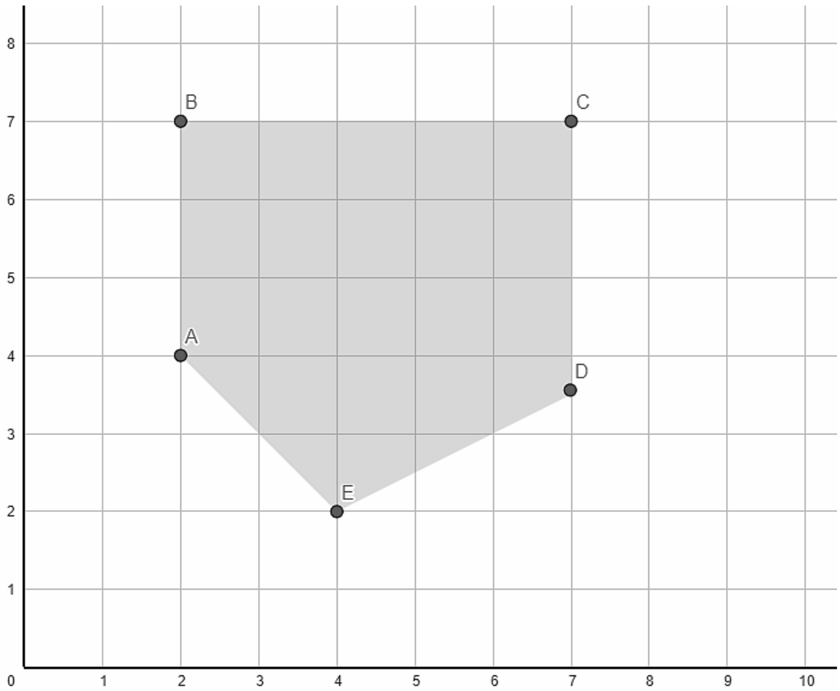
EJERCICIO 2. Un distribuidor de aceite de oliva compra la materia prima a dos productoras A y B. Las productoras A y B venden el aceite a \$2000 y \$3000 por tonelada, respectivamente. Cada productora le vende un mínimo de 2 toneladas y un máximo de 7 y para atender a su demanda, el distribuidor debe comprar en total un mínimo de 6 toneladas. El distribuidor debe comprar como máximo a la productora A el doble de aceite que a la productora B. ¿Qué cantidad de aceite debe comprar el distribuidor a cada productora para obtener el mínimo costo?

Solución

- X_A: toneladas de aceite compradas a la productora A
- X_B: toneladas de aceite compradas a la productora B

FUNCIÓN A MINIMIZAR	RESTRICCIONES
$Z = 2000X_A + 3000X_B$	1. $2 \leq X_A \leq 7$
	2. $2 \leq X_B \leq 7$
	3. $X_A + X_B \geq 6$
	4. $X_A \geq 0$
	5. $X_B \geq 0$
	6. $X_A - 2X_B \leq 0$

Procederemos a graficar las restricciones, siendo el eje de las "x" el correspondiente a X_A y el eje de las "y" el correspondiente a X_B.



SOLUCIONES DE ESQUINA	FUNCIÓN EVALUADA
A: (2,4)	$Z_A = 2000 \times \mathbf{2} + 3000 \times \mathbf{4} = \$16000$
B: (2,7)	$Z_B = 2000 \times \mathbf{2} + 3000 \times \mathbf{7} = \$25000$
C: (7,7)	$Z_C = 2000 \times \mathbf{7} + 3000 \times \mathbf{7} = \$35000$
D: (7,3.5)	$Z_D = 2000 \times \mathbf{7} + 3000 \times \mathbf{3.5} = \$24500$
E: (4,2)	$Z_E = 2000 \times \mathbf{4} + 3000 \times \mathbf{2} = \$14000$

Se deberá comprar 4 toneladas de aceite a la productora A y 2 toneladas de aceite a la productora B para minimizar el costo.

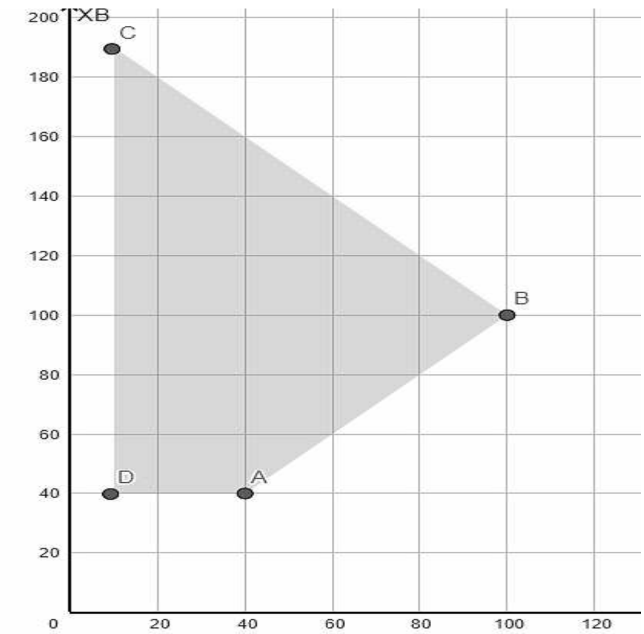
EJERCICIO 3. En un depósito se almacenan bidones de petróleo y gasolina. Para poder atender la demanda se deben tener almacenados un mínimo de 10 bidones de petróleo y 40 de gasolina. Siempre debe haber más bidones de gasolina que de petróleo y la capacidad del depósito es de 200 bidones. Por razones comerciales, deben mantenerse en inventario al menos 50 bidones. El gasto de almacenaje de un bidón de petróleo es de \$0.2 y el de uno de gasolina es de \$0.3. Se desea saber cuántos bidones de cada clase han de almacenarse para que el gasto sea el mínimo.

Solución

- X_A: cantidad almacenada de bidones de petróleo
- X_B: cantidad almacenada de bidones de gasolina

FUNCIÓN A MINIMIZAR	RESTRICCIONES
$Z = 0.2X_A + 0.3X_B$	1. $X_A \geq 10$
	2. $X_B \geq 40$
	3. $X_B - X_A \geq 0$
	4. $X_A + X_B \leq 200$
	5. $X_A + X_B \geq 50$

Procederemos a graficar las restricciones, siendo el eje de las "x" el correspondiente a X_A y el eje de las "y" el correspondiente a X_B.



SOLUCIONES DE ESQUINA	FUNCIÓN EVALUADA
A: (40,40)	$Z_A = 0.2 \times \mathbf{40} + 0.3 \times \mathbf{40} = \$20$
B: (100,100)	$Z_B = 0.2 \times \mathbf{100} + 0.3 \times \mathbf{100} = \$50$
C: (10,190)	$Z_C = 0.2 \times \mathbf{10} + 0.3 \times \mathbf{190} = \$59$
D: (10,40)	$Z_D = 0.2 \times \mathbf{10} + 0.3 \times \mathbf{40} = \$14$

Se deberá almacenar 10 bidones de petróleo y 40 bidones de gasolina en los depósitos de la empresa para minimizar los costos de almacenaje.

EJERCICIO 4. Una empresa dedicada a la fabricación de mates dispone de dos versiones: el estándar y el premium. El proceso de producción consta de dos etapas: ensamblado y pintura. El mate estándar requiere 1 hora de ensamble y 1 hora de pintura mientras que el mate premium requiere 1 hora de ensamble y 2 horas de pintura. La empresa tiene 2 empleados que realizan tareas de ensamble y 3 empleados que realizan tareas de pintura. Se trabaja 5 días a la semana, 8 horas por día. El mate estándar y premium se vende a \$500 y \$800, respectivamente. Se estima que el costo de la mano de obra directa es de \$40/h por operario y que el costo de materia prima es de \$250 para el estándar y \$500 para el premium. Los costos generales, comerciales y del resto de la mano de obra ascienden a \$33330 mensuales. Se trabaja 20 días por mes y para satisfacer la demanda se debe producir por mes al menos 61 unidades de cada tipo de mate.

a) ¿Cuál es el mix de producción para obtener la máxima ganancia?
b) ¿Cuál es el beneficio mensual?
c) ¿Cuál es el beneficio mensual si se aumenta el costo fijo en un 6%?

<u>Solución</u>

a)

- X_A: cantidad de mates estándar a producir
- X_B: cantidad de mates premium a producir

Primero calcularemos la capacidad en horas de ensamble y pintura, respectivamente.

$$C_{ensamble} = 2trabrajadores \times \frac{8h}{dia \times trabajador} \times \frac{5dias}{semana} \times \frac{4semanas}{1mes} = 320h/mes$$

$$C_{pintura} = 3trabrajadores \times \frac{8h}{dia \times trabajador} \times \frac{5dias}{semana} \times \frac{4semanas}{1mes} = 480h/mes$$

Antes de continuar con el ejercicio debemos aclarar lo siguiente:

- **Ganancia**: también conocido como *contribución marginal* o *margen de contribución*.
- **Beneficio**: también conocido como *utilidad*.

La contribución marginal se calcula como:

$$MCg = pvu - cvu$$

Donde *pvu* es el precio de venta unitario y *cvu* es el costo variable unitario.

Como nos piden maximizar la ganancia debemos conocer las contribuciones marginales de cada mate, es decir:

$$MCg_A = pvu_A - cvu_A$$

$$MCg_B = pvu_B - cvu_B$$

Y en definitiva, la función a **maximizar** es:

$$\boxed{MC = MCg_A X_A + MCg_B X_B}$$

Calculemos entonces ambas contribuciones. Primero presentamos los precios de venta unitarios de cada mate:

$$pvu_A = \$500/unid$$

$$pvu_B = \$800/unid$$

Para calcular los costos variables unitarios, tenemos que considerar los costos asociados a la mano de obra directa y materia prima. Es decir:

$$cvu_A = cmp_A + cmod_A$$

Donde cmp_A es el costo de materia prima para el mate estándar y $cmod_A$ es el costo de mano de obra para el mate estándar.

$$cvu_A = \frac{\$250}{unid} + \left(\frac{\$40}{h \times trab} \times 2trab \times \frac{1h}{unid}\right) + \left(\frac{\$40}{h \times trab} \times 3trab \times \frac{1h}{unid}\right) = \frac{\$450}{unid}$$

$$MCg_A = \frac{\$500}{unid} - \frac{\$450}{unid} = \frac{\$50}{unid}$$

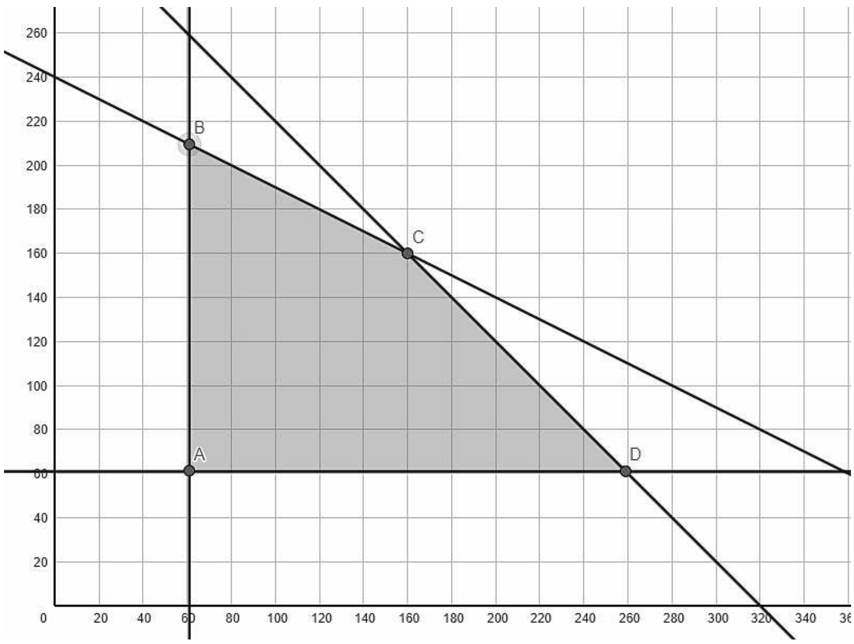
$$cvu_B = cmp_B + cmod_B$$

$$cvu_B = \frac{\$500}{unid} + \left(\frac{\$40}{h \times trab} \times 2trab \times \frac{1h}{unid}\right) + \left(\frac{\$40}{h \times trab} \times 3trab \times \frac{2h}{unid}\right) = \frac{\$820}{unid}$$

$$MCg_A = \frac{\$800}{unid} - \frac{\$820}{unid} = -\frac{\$20}{unid}$$

FUNCIÓN A MAXIMIZAR	RESTRICCIONES
$Z = 50X_A - 20X_B$	1. $X_A \geq 61$ 2. $X_B \geq 61$ 3. $X_A + X_B \leq 320$ 4. $X_A + 2X_B \leq 480$

Procederemos a graficar las restricciones, siendo el eje de las "x" el correspondiente a X_A y el eje de las "y" el correspondiente a X_B.



SOLUCIONES DE ESQUINA	FUNCIÓN EVALUADA
A: (61,61)	$Z_A = 50 \times \mathbf{61} - 20 \times \mathbf{61} = \$1830/mes$
B: (61,209)	$Z_B = 50 \times \mathbf{61} - 20 \times \mathbf{209} = -\$1130/mes$
C: (160,160)	$Z_C = 50 \times \mathbf{160} - 20 \times \mathbf{160} = \$4800/mes$
D: (260,60)	$Z_D = 50 \times \mathbf{260} - 20 \times \mathbf{60} = \$11800/mes$

Por lo tanto, la empresa debe fabricar 260 mates estándar y 60 mates premium para maximizar sus ganancias.

b) El beneficio mensual se calcula como:

$$\boxed{BT = IT - CT}$$

Donde IT es el ingreso total mensual y CT es el costo total mensual.

$$IT = I_A + I_B$$

$$IT = pvu_A X_A + pvu_B X_B$$

$$IT = \left(\frac{\$500}{unid} \times \frac{260unid}{mes}\right) + \left(\frac{\$800}{unid} \times \frac{60unid}{mes}\right) = \frac{\$178000}{mes}$$

$$CT = CF + CV$$

$$CT = CF + CV_A + CV_B$$

$$CT = CF + cvu_A X_A + cvu_B X_B$$

$$CT = \frac{\$33330}{mes} + \left(\frac{\$450}{unid} \times \frac{260unid}{mes}\right) + \left(\frac{\$820}{unid} \times \frac{60unid}{mes}\right) = \frac{\$199530}{mes}$$

Por lo tanto el **beneficio total mensual** es:

$$BT = \frac{\$178000}{mes} - \frac{\$199530}{mes} = -\frac{\$21530}{mes}$$

Otra forma de calcularlo es mediante la fórmula:

$$\boxed{BT = MC - CF}$$

$$BT = \frac{\$11800}{mes} - \frac{\$33330}{mes} = -\frac{\$21530}{mes}$$

- Si el margen de contribución es positivo, permite absorber el costo fijo y generar un margen para la utilidad o ganancia esperada. Entre mayor sea el margen de contribución, mayor será la utilidad (recordemos que el costo fijo es siempre fijo así varíe el margen de contribución).
- Cuando el margen de contribución es igual al costo fijo, no deja margen para la ganancia (no genera utilidad o Rentabilidad), por lo que se considera que la empresa está en el Punto de equilibrio (No gana, no pierde).
- **Cuando el margen de contribución no alcanza para cubrir los costos fijos**, la empresa aunque puede seguir operando en el corto plazo debido a que puede cubrir en parte los costos fijos, si no se toman medidas, al estar trabajando a perdida corre el riesgo de quedarse sin Capital de trabajo suficiente, puesto que éste es utilizado para cubrir los costos fijos que no alcanza a cubrir el margen de contribución.
- Cuando el margen de contribución es negativo, es decir, que los costos variables son superiores al precio de venta, se está ante una situación crítica la cual necesariamente debe conducir a suspender la producción del bien en cuestión.

c) Si aumenta el costo fijo en un 6%:

$$CF' = \$35329.8/mes$$

$$BT' = -23529.8/mes$$

EJERCICIO 5. La constructora *ITDA* se ha adjudicado la construcción de 100 casas. El contrato obliga a construir dos tipos de casas, la casa tipo campo se vende a $60.000.000 y la de tipo rancho a $50.000.000. Para la casa tipo campo se necesitan 20 horas de carpintería y 100 horas de obra civil y para la casa tipo rancho se necesitan 25 horas de carpintería y 80 horas de obra civil. Los costos de materia prima para la fabricación de cualquier tipo de casa son de $20.000.000. El costo por hora de obra civil es de $10.000 y el costo de hora carpintería es de $5.000. De acuerdo a la disponibilidad de mano de obra se cuenta con un equipo que ofrece 8000 horas de obra civil y 3000 horas de carpintería. Determine la cantidad de casas a construir que maximice la ganancia.

<u>Solución</u>

- X_A: casa tipo campo a construir
- X_B: casa tipo rancho a construir

Debemos maximizar la ganancia:

$$\boxed{MC = MCg_A X_A + MCg_B X_B}$$

Para determinar las ganancias unitarias:

$$MCg_A = pvu_A - cvu_A$$

Donde

$$cvu_A = cmp_A + cmod_A$$

Siendo cmp_A el costo de materia prima para las casas de tipo campo y $cmod_A$ el costo unitario asociado a la mano de obra directa.

$$cmp_A = \frac{\$20.000.000}{unid}$$

$$cmod_A = \frac{\$10.000}{h} \times \frac{100h}{unid} + \frac{\$5.000}{h} \times \frac{20h}{unid} = \frac{\$1.100.000}{unid}$$

$$cvu_A = \$21.100.000/unid$$

$$MCg_A = \frac{\$60.000.000}{unid} - \frac{\$21.100.000}{unid} = \frac{\$38.900.000}{unid}$$

Para las casas de tipo rancho:

$$cmp_B = \frac{\$20.000.000}{unid}$$

$$cmod_B = \frac{\$10.000}{h} \times \frac{80h}{unid} + \frac{\$5.000}{h} \times \frac{25h}{unid} = \frac{\$925.000}{unid}$$

$$cvu_B = \$20.925.000/unid$$

$$MCg_B = \frac{\$50.000.000}{unid} - \frac{\$20.925.000}{unid} = \frac{\$29.075.000}{unid}$$

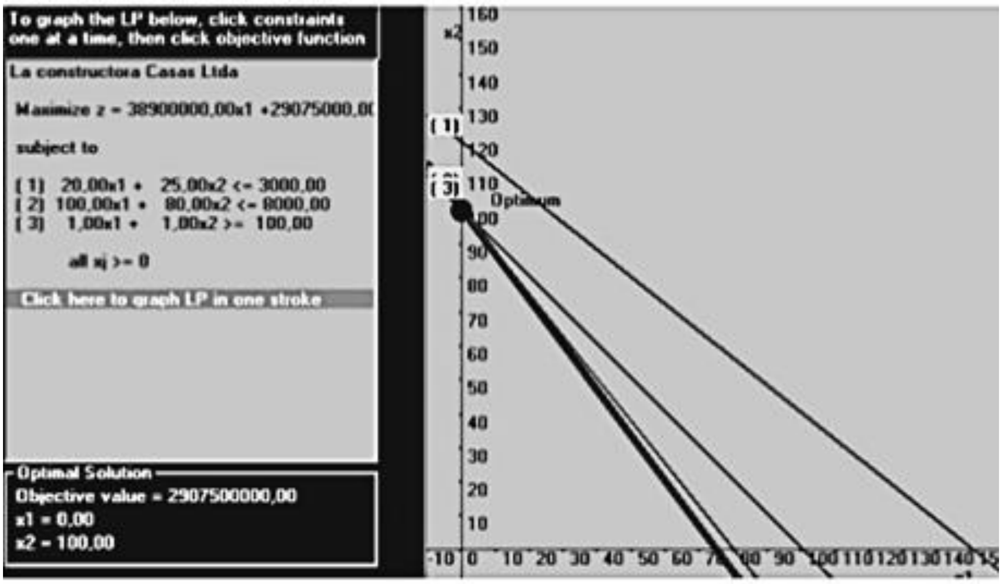
La función a maximizar:

$$MC = 38.900.000X_A + 29.075.000X_B$$

Sujeto a las restricciones:

1. $X_A + X_B \geq 100$
2. $20X_A + 25X_B \leq 3000$
3. $100X_A + 80X_B \leq 8000$

Ahora graficamos y obtenemos las posibles soluciones:



La única solución según el método gráfico es construir únicamente 100 casas tipo rancho para maximizar las ganancias.

EJERCICIO 6. Una empresa se dedica a la fabricación de cervezas en dos variedades: rubia y negra. Dispone de una provisión suficiente de insumos a excepción de la malta *Pilsen* y la levadura. La capacidad de los tanques de almacenado es de 100.000 litros. Su capacidad de producción está limitada por la etapa de maduración la cual sucede en el almacenado (se requiere un mes para la maduración de la cerveza). Por otro lado se sabe que el mercado es limitado para su cerveza negra, el estudio de mercado indica que la demanda de la misma no supera los 24.900 litros al mes. Las contribuciones marginales de cada producto son de $5 por cada botella de 1 litro de cerveza rubia y $7 por cada botella de 1 litro de cerveza negra. La empresa trabaja 24 días al mes y los costos fijos se estiman en $404.900 mensuales. La siguiente tabla muestra la disponibilidad de recursos de la empresa:

Insumo	Cerveza rubia	Cerveza negra	Disponibilidad (mes)
Malta *Pilsen*	200g/lt cerveza	300g/lt cerveza	24.000kg
Levadura	0.5g/lt cerveza	0.5g/lt cerveza	60kg

a) ¿Cuántos litros de cerveza rubia y negra se debe fabricar para obtener la máxima ganancia?
b) ¿Cuál es el beneficio mensual estimado?
c) ¿Cuál es el beneficio mensual si se aumenta el costo fijo en un 6%?

Solución

a) Debemos determinar primero la función a maximizar. En nuestro caso:

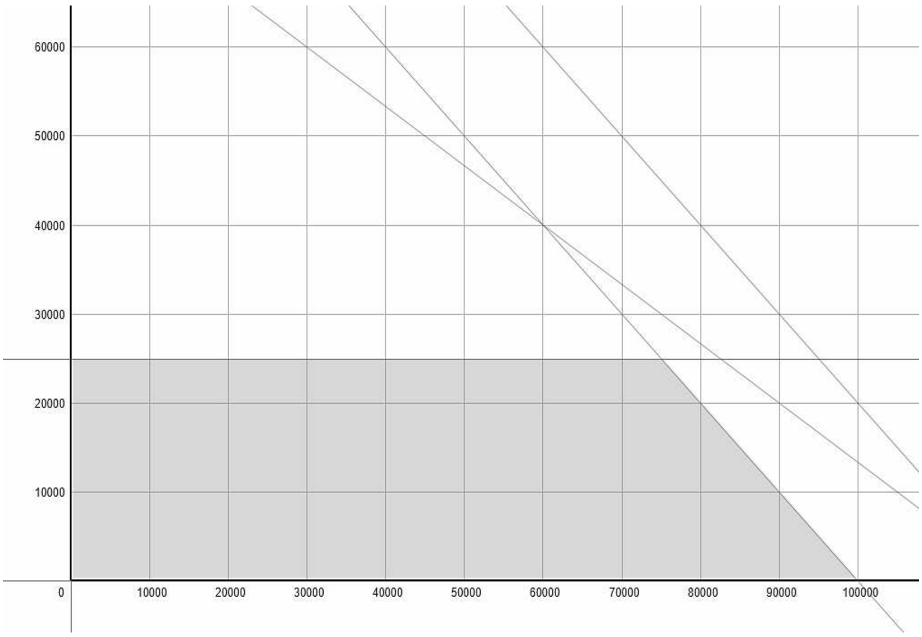
$$MC = MCg_A X_A + MCg_B X_B$$

Siendo X_A y X_B la cantidad en litros de cerveza rubia y negra a producir al mes, respectivamente.

$$MC = 5X_A + 7X_B$$

Sujeto a las restricciones:

1. $200X_A + 300X_B \leq 24000000$
2. $0.5X_A + 0.5X_B \leq 60000$
3. $X_B \leq 24900$
4. $X_A + X_B \leq 100000$



Las soluciones esquina son:

- A: (0,24900)
- B: (75100,24900)
- C: (100000,0)

La función a maximizar evaluada en cada punto:

- $Z_A = 5 \times \mathbf{0} + 7 \times \mathbf{24900} = \$174.300/mes$
- $Z_B = 5 \times \mathbf{75100} + 7 \times \mathbf{24900} = \$549.800/mes$
- $Z_C = 5 \times \mathbf{100000} + 7 \times \mathbf{0} = \$500.000/mes$

La empresa deberá fabricar 75.100 litros mensuales de cerveza rubia y 24900 litros mensuales de cerveza negra para maximizar sus ganancias.

b) El beneficio mensual se calcula como:

$$BT = MC - CF$$

$$BT = \frac{\$549.800}{mes} - \frac{\$404.900}{mes}$$

$$BT = \frac{\$144.900}{mes}$$

c) Si aumenta el costo fijo en un 6%:

$$CF' = \$429.194/mes$$

$$BT' = 120.606/mes$$
