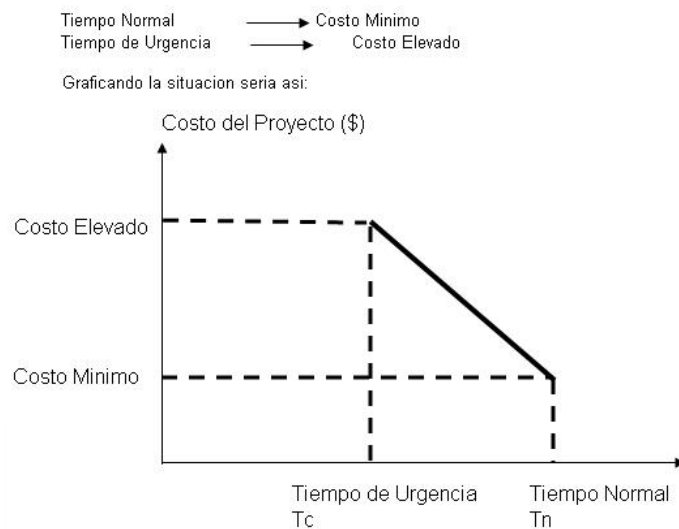


EJERCICIOS DEL METODO CPM

Intercambio de Tiempo y Costo

Muchas actividades de un proyecto se pueden reducir en su tiempo y duración, pero solo aumentando sus costos. Cada cantidad tiene un *tiempo mínimo*, es decir un tiempo limite para reducirse, si ese tiempo se reduce aun mas la actividad no puede realizarse. Si varias actividades se reducen hasta su mínimo el costo del proyecto aumenta y entonces se habla en un proyecto de tiempo mínimo a un costo elevado, esto quiere decir que el proyecto oscila entre dos (2) tiempos:

Figura 1. Intercambio de tiempo y costo



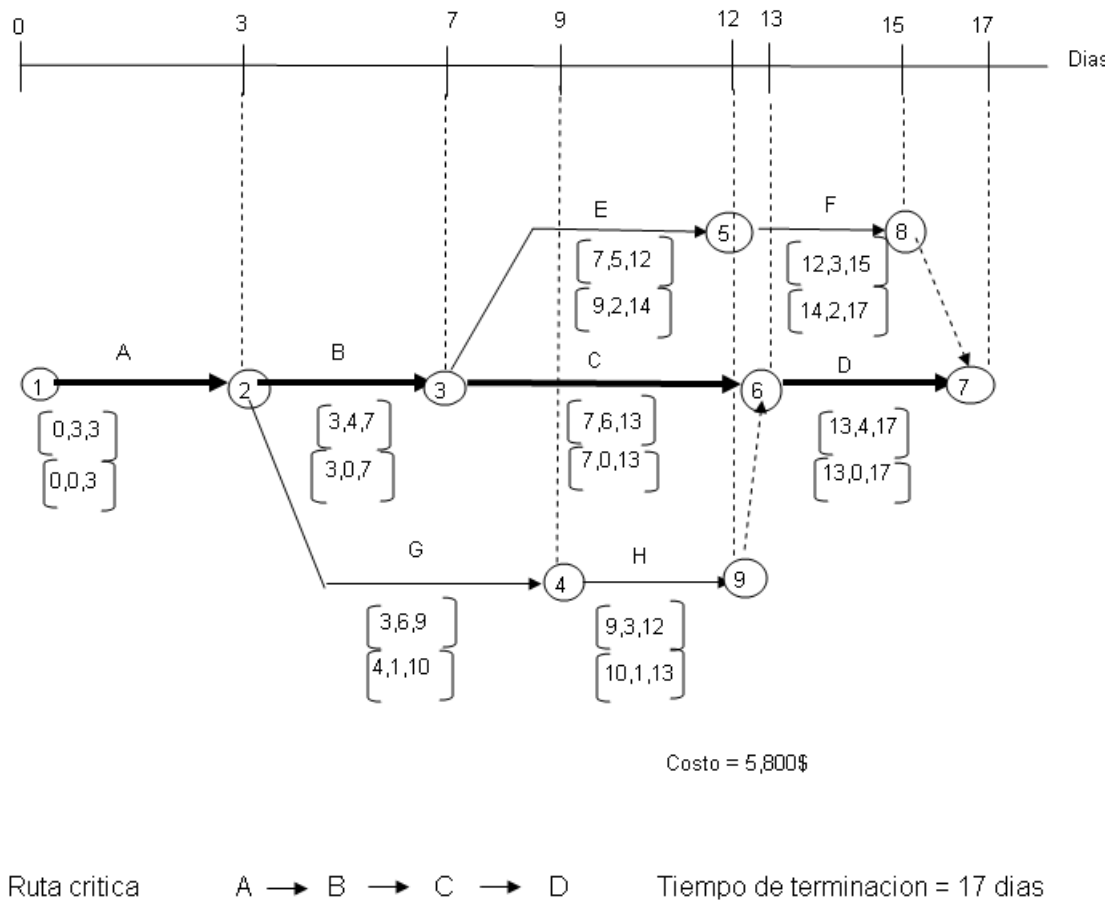
Como se muestra en la grafica los tiempos y costos son inversamente proporcionales esto quiere decir que en un tiempo normal los costos son mínimos pero en el tiempo de urgencia los costos se elevan.

Algunos proyectos que son susceptibles de una disminución en el tiempo llegan a un límite donde intentan una reducción adicional, implicando un aumento de costos, muchas veces sin obtener una reducción en el tiempo.

METODO DE REVISION HACIA DELANTE Y HACIA ATRAS

Supongamos que tenemos la siguiente red de un proyecto:

Figura 2. Red de Actividades



Existe un procedimiento eficiente que consiste en calcular a mano los límites de tiempo para cada actividad (Tiempos de iniciación cercana, iniciación lejana, terminación cercana y terminación lejana) y, a partir de estos datos calcular la Ruta Crítica. Los límites de los tiempos de iniciación cercana y terminación cercana pueden calcularse haciendo una revisión hacia adelante de la red; Los

tiempos de iniciación lejana y terminación lejana se determinan utilizando una revisión hacia atrás en la red.

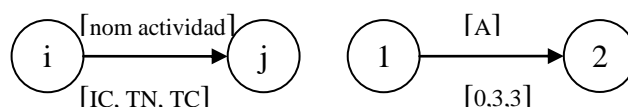
Revisión hacia adelante: Calculo de los tiempos de iniciación cercana y terminación cercana.

Para comenzar con el análisis de la revisión hacia adelante, es necesario identificar algunos términos e identificar el procedimiento y la notación que se utilizará.

El tiempo de iniciación cercana de una actividad es el tiempo más próximo posible en que una actividad puede comenzar. En los cálculos, se utilizará **IC_{ij}** para designar el tiempo de iniciación cercana, en donde **i** y **j** representan los nodos inicial y final asociados con la actividad.

El tiempo de terminación cercana para una actividad, el cual se denota mediante **TC_{ij}** es su tiempo de iniciación cercana mas el tiempo normal que se requiere para completar la actividad (TN).

Utilizando la actividad A de la figura 2 ejemplo 1 la porción de red tendría la siguiente apariencia:



El procedimiento normal para analizar una red consiste en comenzar en el nodo inicial y suponer como lo hemos hecho que se tiene un tiempo inicial de 0. Se supone que todas las actividades comienzas t6an pronto como se han terminado todas las actividades precedentes asociadas.

Puesto que la actividad A no tiene predecesora $IC_{1,2}=0$; por lo tanto su correspondiente tiempo de terminación cercana será:

$$TC_{1,2} = 0 + TN = 0 + 3 = 3$$

Una vez que se ha calculado el tiempo de terminación cercana para la actividad A, puede calcularse el tiempo de iniciación cercana de la actividad B y G; ya que estas actividades no pueden comenzar si no hasta que la actividad A ha sido terminada.

El tiempo de iniciación cercana de las actividades B y G son iguales al tiempo de terminación cercana de la actividad A.

$$TC = 3$$

$$IC_{2,3} = 3$$

$$IC_{2,4} = 3$$

El tiempo de terminación cercana para la actividad B es su tiempo de iniciación cercana mas su tiempo normal o de duración.

$$TC_{2,3} = IC_{2,3} + TN_{2,3} = 3 + 4 = 7$$

De la misma manera una vez que se tiene el tiempo de terminación cercana de la actividad A, puede procederse con el análisis de la actividad G. Los tiempos de iniciación y terminación cercana para la actividad G son:

$$IC_{2,4} = TC_{1,2} = 3$$

$$TC_{2,4} = IC_{2,4} + TN_{2,4} = 3 + 6 = 9$$

Continuando este tipo de análisis hacia delante, pueden calcularse los tiempos de iniciación cercana (IC) y después los tiempos de terminación cercana (TC) para cada una de las actividades del proyecto.

La figura 2 del ejemplo 1 es un diagrama completo de red que ilustra los valores de los IC_{ij} y TC_{ij} .

Hay casos en que existen varias actividades precediendo a otra, el tiempo de iniciación cercana para esta actividad es igual al mayor valor de los tiempos de terminación cercana para todas las actividades precedentes. Por ejemplo la actividad D, es precedida por las actividades C y H por lo tanto el tiempo de iniciación cercana para la actividad D es 13, es decir, $IC_{6,7} = 3$.

Examinando los cálculos de tiempo para la figura 2 se observa que el tiempo de terminación cercana para la actividad final D es de 17 días.

Revisión hacia atrás:

Cálculos de los tiempos de iniciación lejana y terminación lejana.

Puede identificarse el tiempo total que se requiere para terminar un proyecto haciendo una revisión hacia delante de la red, pero no pueden responderse preguntas como: ¿Cuanto puede demorarse cada actividad, si es posible? ¿Qué tan tarde puede comenzar una actividad específica sin prolongar la duración total del proyecto?. Sin embargo, pueden responderse estas preguntas después de hacer una revisión hacia atrás en la red.

Al igual que en el caso de la revisión hacia delante antes de comenzar la revisión hacia atrás es necesario identificar y definir algunos términos como el tiempo de iniciación lejano y terminación lejana.

El tiempo de iniciación lejana para una actividad se denota IL_{ij} que es el tiempo mas lejano o mas tardado en el que una actividad puede comenzar sin demorar la fecha de terminación del proyecto.

El tiempo de terminación lejana para una actividad se denota TL_{ij} es el tiempo de iniciación lejana mas el tiempo de duración de la actividad (TN_{ij}).

En forma simbólica son:

$TL_{ij} = IL_{ij} + TN_{ij}$ sin embargo, para la revisión hacia atrás la forma mas útil es $IL_{ij} - TN_{ij}$.

Para comenzar los cálculos se empieza con el nodo final (nodo 7 en este caso) y se fija el tiempo de germinación lejana para la ultima actividad como el tiempo total de duración calculado en la revisión hacia adelante, es decir; $TL_{6,7} = 17$ como se requiere días para terminar la actividad D, el tiempo de iniciación lejana para esta actividad es igual al tiempo de terminación lejana menos el tiempo normal.

Es decir $IL_{6,7} = TL_{6,7} - TN_{6,7} = 17 - 4 = 13$

Continuando el analisis de revisión hacia atrás pueden calcularse los tiempos mas lejanos de terminación y de iniciación para cada actividad de la red.

La figura 2 muestra los cálculos resultantes, se muestran entre corchetes IL_{ij} y TL_{ij} para las actividades respectivas por debajo de los valores encerrados entre corchetes $[IC_{ij}; TN_{ij}; TC_{ij}]$.

Un factor que debe observarse con respecto al calculo de los factores TL_{ij} para una red es que si un nodo determinado tiene mas de una actividad que sale de el, entonces el tiempo de terminación lejana que entra al nodo es igual al menor valor de los tiempos de iniciación lejana para todas las actividades que salen del nodo.

Ejemplo: en la actividad B las actividades E y C tienen tiempo de iniciación lejana 9 y 7 respectivamente, esto significa que la actividad B su tiempo de germinación lejana es el de menor valor, en este caso seria 7, es decir $TL_{2,3} = 7$.

Además de los valores de los tiempos de iniciación lejana y terminación lejana se muestra el tiempo de holgura o flotante, que se define como la longitud de tiempo en la que puede demorarse una actividad sin ocasionar que la duración del proyecto general exceda su tiempo programado de terminación. La cantidad de tiempo flotante para una actividad se calcula tomando la diferencia entre sus tiempos de iniciación lejana y de iniciación cercana o entre sus tiempos de

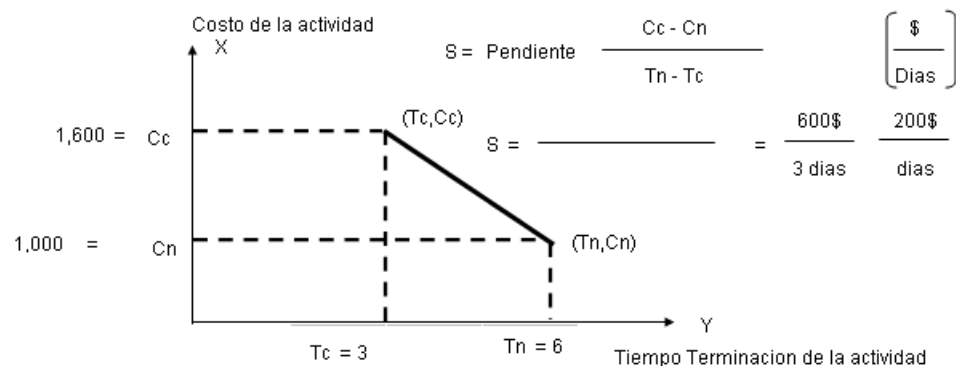
terminación lejana y terminación cercana. Simbólicamente sería: $F_{ij} = IL_{ij} - IC_{ij}$ o $F_{ij} = TL_{ij} - TC_{ij}$.

REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE LAS ACTIVIDADES

Para determinar que tareas deben reducirse y en cuanto; es necesario conocer para cada una de las actividades lo siguiente:

- a) t_n = Tiempo normal (esperado) para la actividad
- b) c_n = costo asociado con el tiempo normal de la actividad.
- c) t_c = tiempo reducido (El menor tiempo posible para terminar la actividad (reducción máxima))
- d) c_c = Costo de reducción (costo asociado con el menor tiempo posible para la actividad (reducción máxima)).

Figura 3. Demostración de intercambio y costo.



Esta grafica demuestra la relación directa entre el costo al realizar un actividad en un tiempo; es decir la pendiente de costo que determina el costo de ejecución de cada actividad en una unidad de tiempo.

A continuación se muestra la siguiente tabla donde se tienen los costos y tiempos asociados así como la pendiente de costo de cada una de las actividades

Tabla 1. Cálculos de pendiente de costos

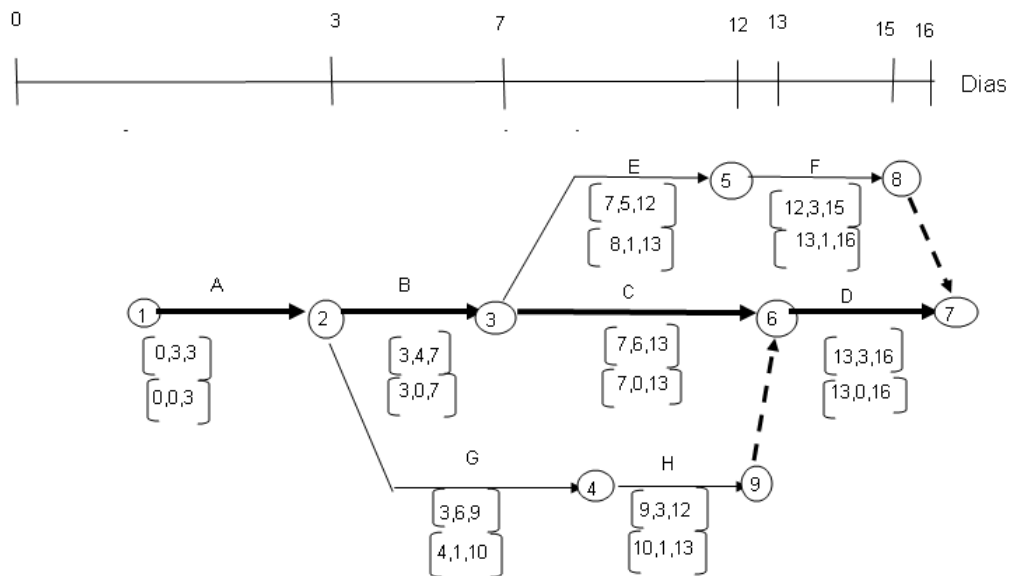
| ACTIVIDAD | día Tn (Tiempo Normal) | \$ Cn (Costo Normal) | día Tc Tiempo de Urgencia | 2e Cc Costo de Urgencia | $S = \frac{Cc - Cn}{Tn - Tc}$ \$ ----- Tn - Tc día |
|-----------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| A | 3 | 300 | 2 | 360 | 60 |
| B | 4 | 500 | 2 | 900 | 200 |
| C | 6 | 1000 | 3 | 1600 | 200 |
| D | 4 | 600 | 3 | 650 | 50 |
| E | 5 | 1200 | 2 | 1500 | 100 |
| F | 3 | 500 | 3 | 500 | 0 |
| G | 6 | 800 | 5 | 1050 | 250 |
| H | 3 | 900 | 2 | 1200 | 300 |
| | | 5800\$ | | 7760\$ | |
| | | Costo Normal | | Costo de Urgencia | |

Nota: Dentro de la ruta crítica se escoge la actividad del menor costo

Algoritmo

Iniciamos la reducción con la actividad que en la ruta critica tenga el menor costo de reducción por día (la actividad **D** en este caso) y se reduce en un día, la figura 2, mostrará la red comprimida.

Figura 4. Red de actividades primera reducción



Utilizando el método de revisión hacia delante y hacia atrás se actualizan los datos de la red que se ilustran en la figura anterior.

Ruta Critica A → B → C → D Tiempo de Terminación =16 días.

| | |
|-------|---------|
| Costo | 5800 \$ |
| | 50 \$ |

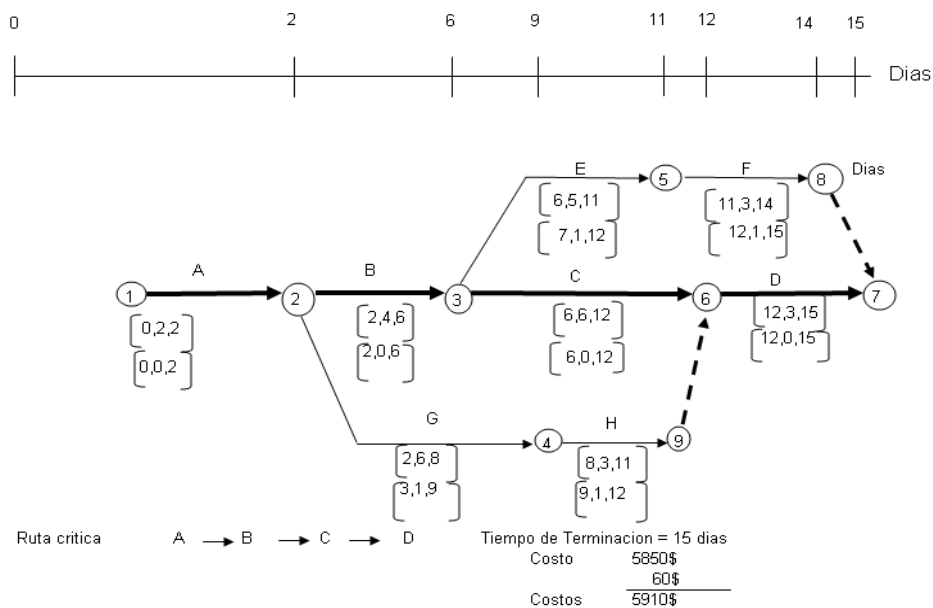
| | |
|--------|--------|
| Costos | 5850\$ |
|--------|--------|

La actividad **D** no se puede reducir mas, continuamos con la actividad que siga en costos menores que tenga la pendiente de costo menor, es decir la actividad **A**. Dibujamos nuevamente la red comprimida en el fin de encontrar la nueva RUTA CRÍTICA. Tenga mucho cuidado porque puede el proyecto volverse hipercrítico (es decir tener mas de una ruta critica).

Tabla 2. Cálculos de la pendiente de la primera reducción

| ACTIVIDAD | día Tn (Tiempo Normal) | \$ Cn (Costo Normal) | día Tc Tiempo de Urgencia | día Cc Costo de Urgencia | $S = Cc - Cn$ ----- Tn - Tc |
|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| A | 3 | 300 | 2 | 360 | 60 |
| B | 4 | 500 | 2 | 900 | 200 |
| C | 6 | 1000 | 3 | 1600 | 200 |
| D | 3 | 650 | 3 | 650 | 0 |
| E | 5 | 1200 | 2 | 1500 | 100 |
| F | 3 | 500 | 3 | 500 | 0 |
| G | 6 | 800 | 5 | 1050 | 250 |
| H | 3 | 900 | 2 | 1200 | 300 |

Figura 5. Red de actividades segunda reducción



Para actualizar los datos de la red se utiliza nuevamente el método de revisión hacia delante y hacia atrás tal como se ilustra en la figura anterior.

Tabla 3. Cálculos de la pendiente de la segunda reducción

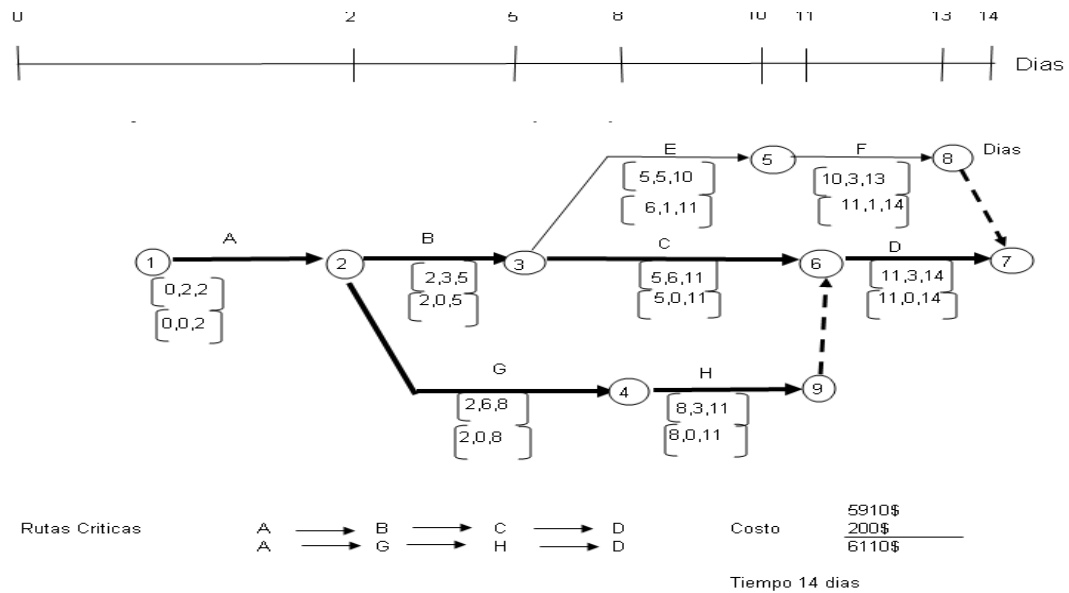
| ACTIVIDAD | día Tn (Tiempo Normal) | \$ Cn (Costo Normal) | día Tc Tiempo de Urgencia | día Cc Costo de Urgencia | S = Cc - Cn |
|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | | | | ----- Tn - Tc ----- |
| A | 2 | 360 | 2 | 360 | 0 |
| B | 4 | 500 | 2 | 900 | 200 |
| C | 6 | 1000 | 3 | 1600 | 200 |
| D | 3 | 650 | 3 | 650 | 0 |
| E | 5 | 1200 | 2 | 1500 | 100 |
| F | 3 | 500 | 3 | 500 | 0 |
| G | 6 | 800 | 5 | 1050 | 250 |
| H | 3 | 900 | 2 | 1200 | 300 |

La actividad **A** no se puede reducir mas; entonces quedan para reducir **B** y **C** como tienen el mismo costo de reducción por día, se debe elegir la mas conveniente.

¿Cual Elegimos?

Si elegimos para reducir la actividad **C** esta reduce también a la actividad **D**, si elegimos para reducir la actividad **B** esta reduce a la actividad **C** y la actividad **E**, luego preferimos a la actividad **B** y la reducimos en un (1) día.

Figura 6 Red de actividades tercera reducción



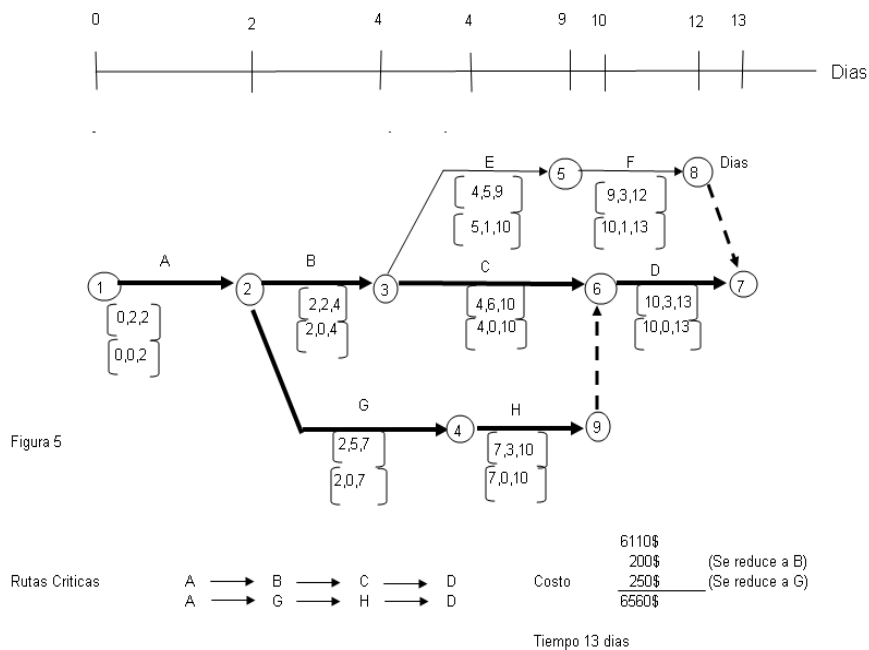
Para actualizar los datos de la red se utiliza nuevamente el método de revisión hacia delante y hacia atrás tal como se ilustra en la figura anterior.

Ahora la actividad **A** y la actividad **D** son actividades comunes a las 2 Rutas y ya están reducidas al máximo, luego quedan como elegibles las actividades **B**, **C**, **G**, **H**, entre **B** y **C** elegimos la actividad **B** porque reduce las RUTAS (reducción de 1 día) entre las actividades **G** y **H** elegimos la actividad **G** por el menor costo (reducción de un día).

Tabla 4. Cálculos de la pendiente de la tercera reducción

| ACTIVIDAD | día Tn (Tiempo Normal) | \$ Cn (Costo Normal) | día Tc Tiempo de Urgencia | día Cc Costo de Urgencia | $S = Cc - Cn$ ----- Tn - Tc | \$ ----- día |
|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| A | 2 | 360 | 2 | 360 | 0 | |
| B | 3 | 700 | 2 | 900 | 200 | |
| C | 6 | 1000 | 3 | 1600 | 200 | |
| D | 3 | 650 | 3 | 650 | 0 | |
| E | 5 | 1200 | 2 | 1500 | 100 | |
| F | 3 | 500 | 3 | 500 | 0 | |
| G | 6 | 800 | 5 | 1050 | 250 | |
| H | 3 | 900 | 2 | 1200 | 300 | |

Figura 7 Red de actividades de la cuarta reducción



Se utiliza nuevamente el método de revisión hacia delante y hacia atrás tal como se ilustra en la figura anterior.

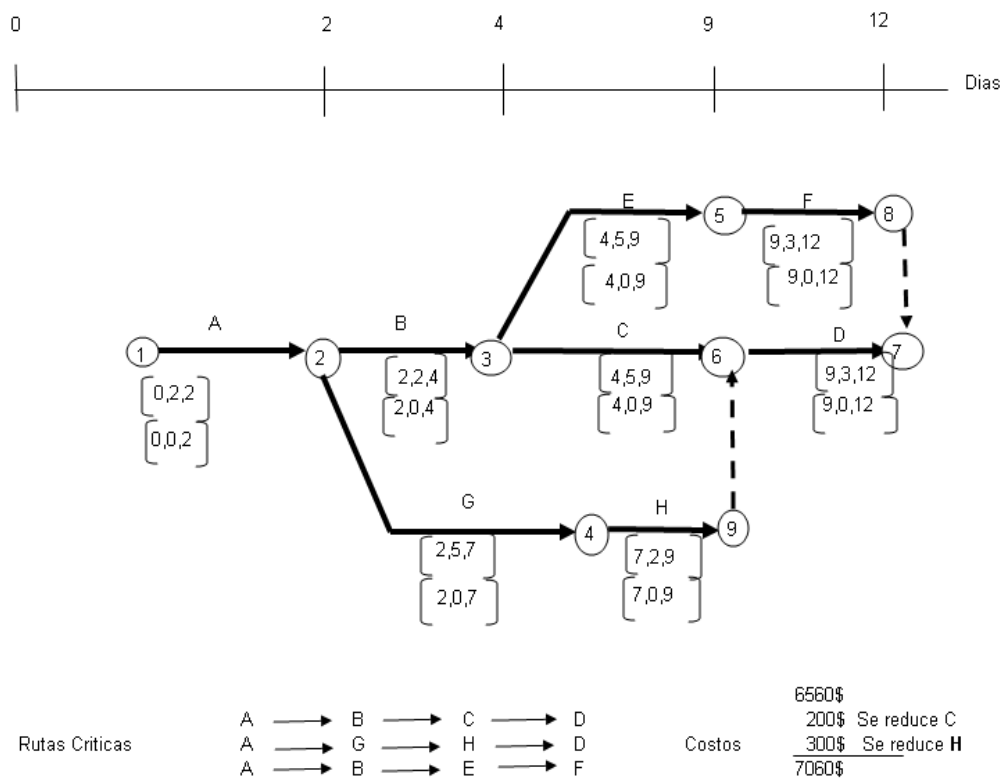
Nota: Cuando hay 2 rutas críticas se reducen al tiempo.

Ya se comprimió la actividad **H** al máximo y la actividad **B** también, luego quedan como elegibles en las Rutas Críticas, las actividades **H** y **C**. Se reduce la actividad **C** en un día y **H** también.

Tabla 5. Cálculos de la pendiente de la cuarta reducción

| ACTIVIDAD | día Tn (Tiempo Normal) | \$ Cn (Costo Normal) | día Tc Tiempo de Urgencia | día Cc Costo de Urgencia | S = Cc - n ----- Tn - Tc |
|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | | | | | |
| A | 2 | 360 | 2 | 360 | 0 |
| B | 2 | 900 | 2 | 900 | 0 |
| C | 6 | 1000 | 3 | 1600 | 200 |
| D | 3 | 650 | 3 | 650 | 0 |
| E | 5 | 1200 | 2 | 1500 | 100 |
| F | 3 | 500 | 3 | 500 | 0 |
| G | 5 | 1050 | 5 | 1050 | 0 |
| H | 3 | 900 | 2 | 1200 | 300 |

Figura 8 Red de actividades de la quinta reducción



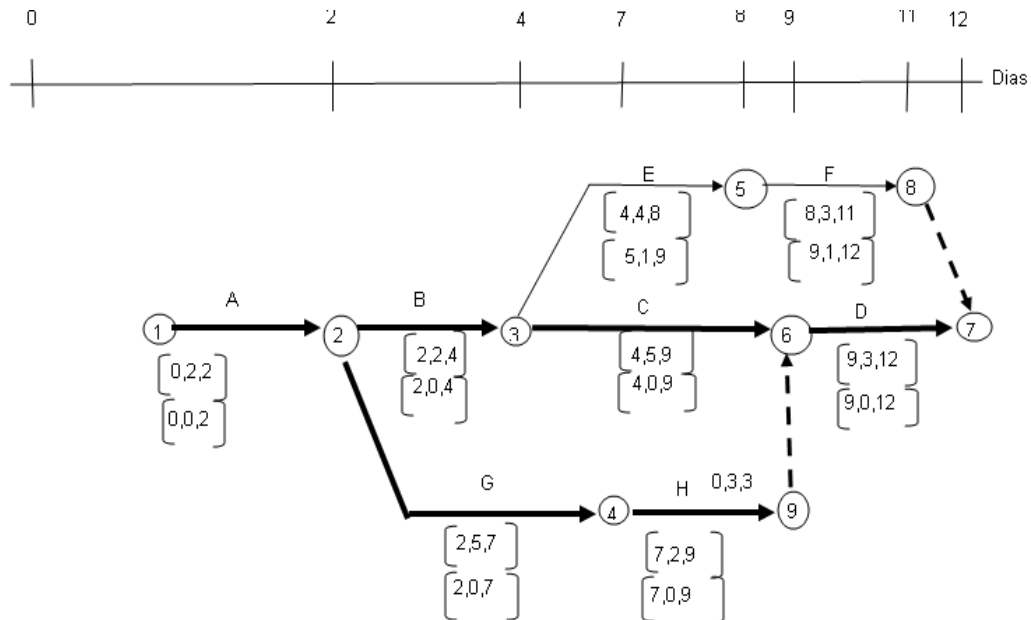
Para actualizar los datos de la red se utiliza nuevamente el método de revisión hacia delante y hacia atrás tal como se ilustra en la figura anterior.

Tabla 6. Cálculos de la pendiente de la quinta reducción

| ACTIVIDAD | día Tn (Tiempo Normal) | \$ Cn (Costo Normal) | día Tc Tiempo de Urgencia | día Cc Costo de Urgencia | $S = \frac{Cc - Cn}{Tn - Tc}$ | \$ ----- día |
|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| A | 2 | 360 | 2 | 360 | 0 | |
| B | 2 | 900 | 2 | 900 | 0 | |
| C | 5 | 1200 | 3 | 1600 | 200 | |
| D | 3 | 650 | 3 | 650 | 0 | |
| E | 5 | 1200 | 2 | 1500 | 100 | |
| F | 3 | 500 | 3 | 500 | 0 | |
| G | 5 | 1050 | 5 | 1050 | 0 | |
| H | 2 | 1200 | 2 | 1200 | 0 | |

Probemos reduciendo la actividad **E** en un día.

Figura 9. Red de actividades de la sexta reducción



Para actualizar los datos de la red se utiliza nuevamente el método de revisión hacia delante y hacia atrás tal como se ilustra en la figura anterior.

A → B → C → D

A → G → H → D

Tiempo del proyecto = 12 días

Costo 7060\$

100\$ (Se reduce a E)

7160\$

MÁS DINERO EN EL MISMO TIEMPO. LA SOLUCIÓN ÓPTIMA DEL PROYECTO ES LA QUE SE MOSTRÓ EN LA TABLA ANTERIOR.

Ejemplo # 2

El siguiente ejercicio contempla un proyecto en la cual se desarrollaran 10 actividades que por razones académicas y de fácil comprensión, los nombres de las mismas están comprendidos desde la actividad A hasta la J. además se incluyen los tiempos y los costos (en miles de pesos) de cada una de las actividades en su condición normal así mismo como los tiempos y los costos (en miles de pesos) en su condición mínima.

Este proyecto muestra un costo indirecto (en miles de pesos) por valor de \$200 por día. El cálculo del costo indirecto no se contempla aquí porque es un valor que depende de las condiciones y el criterio del director del proyecto.

El primer paso es realizar una tabla que contenga los datos necesarios para realizar el proceso de minimización de tiempo y optimización de costos y para lo cual esta deberá contener la siguiente información:

- Nombre de la actividad o tarea.
- Precedencia de la actividad.
- Tiempo (duración) normal de cada una de las actividades.
- Tiempo (duración) mínimo realización de cada una de las actividades.
- Costo mínimo para la duración normal.
- Costo máximo para la condición cuando la duración es mínima.

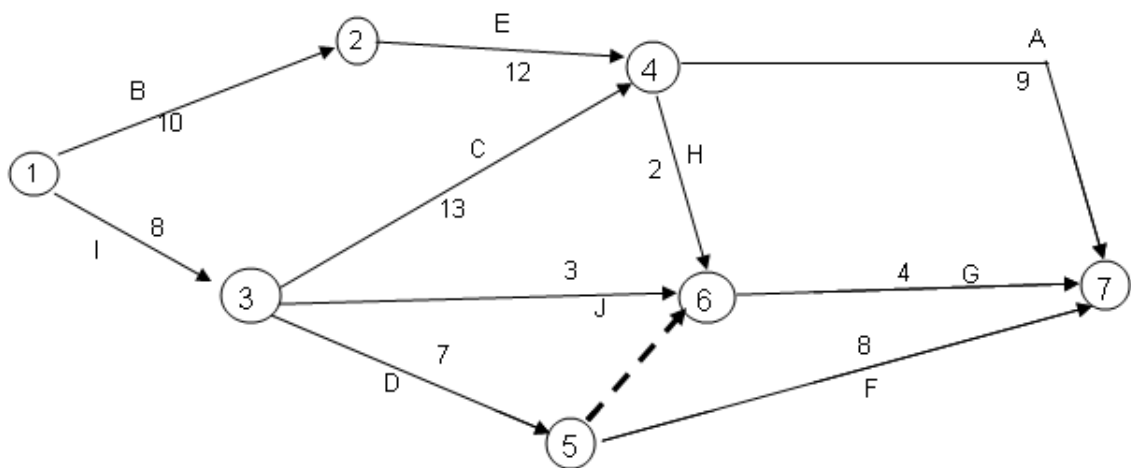
A continuación se muestra la tabla con la información para realizar la minimización de tiempo y optimización de costos del proyecto.

Tabla 7. Actividades y precedencias

| AC | PRECEDENCIAS | Tn | T min | C min | C max |
|-------------------|--------------|-----------|-------|-------|-------|
| T | | | | | |
| A | E-C | 9 | 7 | 1300 | 1600 |
| B | - | 10 | 7 | 700 | 1000 |
| C | I | 13 | 10 | 1000 | 1600 |
| D | I | 7 | 6 | 600 | 900 |
| E | B | 12 | 9 | 600 | 1500 |
| F | D | 8 | 6 | 800 | 1000 |
| G | H-J-D | 4 | 2 | 2000 | 2400 |
| H | C-E | 2 | 1 | 1000 | 1500 |
| I | - | 8 | 6 | 1000 | 1200 |
| J | I | 3 | 2 | 400 | 500 |
| Costo Indirecto = | | 200\$/día | | | |

El **segundo paso** es realización del diagrama de red del proyecto especificando cada actividad con su tiempo normal. A continuación se muestra el diagrama de flechas del proyecto.

Figura 10. Red de actividades



El tercer paso es para la determinación de la ruta crítica y la duración total del proyecto. Se recomienda la realización de una tabla donde se muestren las diferentes rutas (caminos) y sus respectivas duraciones.

Esta tabla se muestra a continuación:

Tabla 8. Tiempo total de cada ruta

| RUTAS | TN |
|----------------|-----------|
| B-E-A | 31 |
| B-E-H-G | 28 |
| I-C-A | 30 |
| I-C-H-G | 27 |
| I-J-G | 15 |

Realizada la tabla se observa que la ruta crítica esta compuesta por la actividad B, actividad E y la actividad A con una duración de 31 días.

El cuarto paso es el cálculo de la pendiente de costos de cada una de las actividades la cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$pendiente\ de\ costo = \frac{costo\ max\ imo - costo\ min\ imo}{tiempo\ normal - tiempo\ min\ imo}$$

Tabla 9. Pendiente de costo de las actividades

| DURACIONES | |
|------------------------|---------------------------|
| Actividad | Pendiente de Costo |
| A | 150 |
| B | 100 |
| C | 200 |
| D | 300 |
| E | 300 |
| F | 100 |
| G | 200 |
| H | 500 |
| I | 100 |
| J | 100 |
| Costo Directo | |
| Costo Indirecto | |
| Costo total | |

El quinto paso es el cálculo del costo directo, del costo indirecto y del costo total de cada una de las actividades cuando la duración es normal. Para calcular el costo directo del proyecto en esta condición (tiempo normal) se deben sumar todos los costos (costo mínimo) de cada una de las actividades que componen el proyecto así:

Costo Directo = costo directo actividad A + costo directo actividad B + costo directo actividad C + costo directo actividad D + costo directo actividad E + costo directo actividad F + costo directo actividad G + costo directo actividad H + costo directo actividad I + costo directo actividad J.

Costo Directo = 1300 + 700 + 1000 + 600 + 600 + 800 + 2000 + 1000 + 1000 + 400 = 9400

El costo indirecto se calculará para esta condición así:

Costo Indirecto = El costo por día * numero de días de duración del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 31días = \$6200días

Costo total = costo Directo + Costo Indirecto

Costo total = 9400 + 6200 = 15600

Tabla 10. Calculo de costos

| DURACIONES | | |
|--------------------|---------------------|------------|
| ACT | Pend de Costo | Tn = 31 |
| A | 150 | 9 |
| B | 100 | 10 |
| C | 200 | 13 |
| D | 300 | 7 |
| E | 300 | 12 |
| F | 100 | 8 |
| G | 200 | 4 |
| H | 500 | 2 |
| I | 100 | 8 |
| J | 100 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 |
| Costo Indirecto | | 6200 |
| Costo total | | 15600 |

Tabla 11. Reducciones de las actividades por días

| Rutas | TN |
|----------------|-----------|
| B-E-A | 31 |
| B-E-H-G | 28 |
| I-C-A | 30 |
| I-C-H-G | 27 |
| I-J-G | 15 |

Los pasos anteriores permitirá iniciar la minimización de tiempo y optimización de costos para lo cual se debe disminuir la duración total del proyecto en un día pasando de 31 día a 30. debido a que la ruta critica está compuesta por varias actividades la duda seria ¿cual de las actividades se le reduce un día? La respuesta nos la dará la actividad de dicha ruta que tenga la menor pendiente.

Las actividades que componen dicha ruta critica es actividad B (pendiente de costo = \$100), actividad E (pendiente de costo = \$300), actividad A (pendiente de costo = \$150).

En este caso quien tiene menor pendiente de costos es la actividad B y se reduce en un día.

El nuevo costo Directo seria = Costo directo anterior (\$9400) + el valor de la pendiente de costo de la actividad B (\$100) = \$9500.

El nuevo Costo Indirecto = El costo por día * numero de días del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 30días = \$6000días

Costo total = \$9500 + \$6000 = \$15500

Utilidad sale de restar el costo total de la condición en tiempo normal con el costo total de la condición actual.

$$\text{Utilidad} = \$15600 - 15500 = +100$$

Tabla 12. Calculo de tiempo y costos de la 1ª reducción

| ACT | Pend de Costo | DURACIONES | |
|-----------------|---------------------|------------|-------|
| | | Tn = 31 | 30 |
| A | 150 | 9 | 9 |
| B | 100 | 10 | 9 |
| C | 200 | 13 | 13 |
| D | 300 | 7 | 7 |
| E | 300 | 12 | 12 |
| F | 100 | 8 | 8 |
| G | 200 | 4 | 4 |
| H | 500 | 2 | 2 |
| I | 100 | 8 | 8 |
| J | 100 | 3 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 | 9500 |
| Costo Indirecto | | 6200 | 6000 |
| Costo total | | 15600 | 15500 |
| Utilidad | | | +100 |

Tabla 13. Resultados de los tiempos de la primera reducción

| Rutas | TN | |
|---------|----|----|
| B-E-A | 31 | 30 |
| B-E-H-G | 28 | 27 |
| I-C-A | 30 | 30 |
| I-C-H-G | 27 | 27 |
| I-J-G | 15 | 15 |

Continuamos reduciendo el proyecto en un día de 30 días pasamos a 29 días nos damos cuenta que en la condición de 30 días apareció una segunda ruta crítica que debemos considerar al bajar el proyecto a 29 días porque ya tocaría reducir las dos rutas críticas simultáneamente en un día surge el interrogante que actividades se pueden reducir: la primera ruta crítica esta compuesta por la actividad B (pendiente de costo = \$100), actividad E (pendiente de costo = \$300), actividad A (pendiente de costo = \$150). Y la segunda ruta crítica esta compuesta por la actividad I (pendiente de costo = \$100), actividad C (pendiente de costo = \$200), actividad A (pendiente de costo = \$150).

Se observa si hay actividades comunes entre las dos rutas (se escoge la actividad común), si no existe se escoge en cada una de las rutas la actividad que tenga la menor pendiente de costo; en este caso se escoge la actividad A (pendiente de costo = \$150). Y se procede a reducir en un día.

El nuevo costo Directo seria = Costo directo anterior (\$9500) + el valor de la pendiente de costo de la actividad A (\$150) = \$9650.

El nuevo Costo Indirecto = El costo por día * numero de días del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 29días = \$5800días

Costo total = \$9650 + \$5800 = \$15450

Utilidad sale de restar el costo total de la condición en tiempo normal con el costo total de la condición actual.

Utilidad = \$15600 – 15450 = +150

Tabla 14. Calculo de tiempo y costos de la 2ª reducción

| DURACIONES | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------|
| ACT | Pend de Costo | Tn = 31 | 30 | 29 |
| A | 150 | 9 | 9 | 8 |
| B | 100 | 10 | 9 | 9 |
| C | 200 | 13 | 13 | 13 |
| D | 300 | 7 | 7 | 7 |
| E | 300 | 12 | 12 | 12 |
| F | 100 | 8 | 8 | 8 |
| G | 200 | 4 | 4 | 4 |
| H | 500 | 2 | 2 | 2 |
| I | 100 | 8 | 8 | 8 |
| J | 100 | 3 | 3 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 | 9500 | 9650 |
| Costo Indirecto | | 6200 | 6000 | 5800 |
| Costo total | | 15600 | 15500 | 15450 |
| Utilidad | | | +100 | +150 |

Tabla 15. Resultados de los tiempos de la segunda reducción

| Rutas | TN | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| B-E-A | 31 | 30 | 29 |
| B-E-H-G | 28 | 27 | 27 |
| I-C-A | 30 | 30 | 29 |
| I-C-H-G | 27 | 27 | 27 |
| I-J-G | 15 | 15 | 15 |

Continuamos reduciendo el proyecto en un día de 29 días pasamos a 28 días nos damos cuenta que en la condición de 29 días apareció una segunda ruta critica que debemos considerar al bajar el proyecto a 28 días porque ya tocaría reducir las dos rutas criticas simultáneamente en un día .surge el interrogante que actividades se pueden reducir: la primera ruta critica esta compuesta por la

actividad B (pendiente de costo = \$100), actividad E (pendiente de costo = \$300), actividad A (pendiente de costo = \$150). Y la segunda ruta crítica esta compuesta por la actividad I (pendiente de costo = \$100), actividad C (pendiente de costo = \$200), actividad A (pendiente de costo = \$150). Se observa si hay actividades comunes entre las dos rutas (se escoge la actividad común), si no existe se escoge en cada una de las rutas la actividad que tenga la menor pendiente de costo; en este caso se escoge la actividad A (pendiente de costo = \$150). Y se procede a reducir en un día.

El nuevo costo Directo seria = Costo directo anterior (\$9650) + el valor de la pendiente de costo de la actividad A (\$150) = \$9800.

El nuevo Costo Indirecto = El costo por día * numero de días del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 28días = \$5600días

Costo total = \$9800 + \$5600 = \$15400

Utilidad sale de restar el costo total de la condición en tiempo normal con el costo total de la condición actual. **Utilidad** \$15600 – 15400 = +200

Tabla 16. Calculo de tiempo y costos de la 3ª reducción

| DURACIONES | | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| ACT | Pend de Costo | Tn = 31 | 30 | 29 | 28 |
| A | 150 | 9 | 9 | 8 | 7 |
| B | 100 | 10 | 9 | 9 | 9 |
| C | 200 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| D | 300 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| E | 300 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| F | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| G | 200 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| H | 500 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| I | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| J | 100 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 | 9500 | 9600 | 9800 |
| Costo Indirecto | | 6200 | 6000 | 5800 | 5600 |
| Costo total | | 15600 | 15500 | 15450 | 15400 |
| Utilidad | | | +100 | +150 | +200 |

Tabla 17. Resultados de los tiempos de la tercera reducción

| Rutas | TN | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| B-E-A | 31 | 30 | 29 | 28 |
| B-E-H-G | 28 | 27 | 27 | 27 |
| I-C-A | 30 | 30 | 29 | 28 |
| I-C-H-G | 27 | 27 | 27 | 27 |
| I-J-G | 15 | 15 | 15 | 15 |

Continuamos reduciendo el proyecto en un día de 28días pasamos a 27 días nos damos cuenta que en la condición de 28 días apareció una segunda ruta critica que debemos considerar al bajar el proyecto a 27días porque ya tocaría reducir las dos rutas criticas simultáneamente en un día .surge el interrogante que

actividades se pueden reducir: la primera ruta critica esta compuesta por la actividad B (pendiente de costo = 100), actividad E (pendiente de costo = \$300), actividad A (pendiente de costo = \$150). Y la segunda ruta critica esta compuesta por la actividad I (pendiente de costo = \$100), actividad C (pendiente de costo = \$200), actividad A (pendiente de costo = \$150).

Se observa si hay actividades comunes entre las dos rutas (se escoge la actividad común), si no existe se escoge en cada una de las rutas la actividad que tenga la menor pendiente de costo; en este caso seria la actividad A (pendiente de costo = \$ 150). Pero no se puede reducir mas porque ya llego a su tiempo mínimo de reducción que son 7 días. Entonces se procede a elegir la siguiente actividad con menor pendiente de costo que es la actividad B (pendiente de costo = \$100) y la actividad I (pendiente de costo = \$100), se procede a reducir en un día.

El nuevo costo Directo seria = Costo directo anterior (\$9800) + el valor de la pendiente de costo de la actividad B (\$100) + la actividad I (pendiente de costo = \$100), = \$10000.

El nuevo Costo Indirecto = El costo por día * numero de días del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 27días = \$5400días

Costo total = \$10000 + \$5400 = \$15400

Utilidad sale de restar el costo total de la condición en tiempo normal con el costo total de la condición actual.

Utilidad = \$15600 – 15400 = +200

Tabla 18. Calculo de tiempo y costos de la 4ª reducción

| DURACIONES | | | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ACT | Pend de Costo | Tn = 31 | 30 | 29 | 28 | 27 |
| A | 150 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 |
| B | 100 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 |
| C | 200 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| D | 300 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| E | 300 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| F | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| G | 200 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| H | 500 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| I | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| J | 100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 | 9500 | 9600 | 9800 | 10000 |
| Costo Indirecto | | 6200 | 6000 | 5800 | 5600 | 5400 |
| Costo total | | 15600 | 15500 | 15450 | 15400 | 15400 |
| Utilidad | | | +100 | +150 | +200 | +200 |

Tabla 19. Resultados de los tiempos de la cuarta reducción

| Rutas | TN | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| B-E-A | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 |
| B-E-H-G | 28 | 27 | 27 | 27 | 26 |
| I-C-A | 30 | 30 | 29 | 28 | 27 |
| I-C-H-G | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 |
| I-J-G | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 |

Continuamos reduciendo el proyecto en un día de 27 días pasamos a 26 días nos damos cuenta que en la condición de 27 días apareció una segunda ruta critica que debemos considerar al bajar el proyecto a 26 días porque ya tocaría reducir

las dos rutas críticas simultáneamente en un día surge el interrogante que actividades se pueden reducir: la primera ruta crítica esta compuesta por la actividad B (pendiente de costo = \$100), actividad E (pendiente de costo = \$300), actividad A (pendiente de costo = \$150). Y la segunda ruta crítica esta compuesta por la actividad I (pendiente de costo = \$100), actividad C (pendiente de costo = \$200), actividad A (pendiente de costo = \$150).

Se observa si hay actividades comunes entre las dos rutas (se escoge la actividad común), si no existe se escoge en cada una de las rutas la actividad que tenga la menor pendiente de costo; en este caso se escoge la actividad B (pendiente de costo = \$100) y la actividad I (pendiente de costo = \$100). Y se proceden a reducirse en un día.

El nuevo costo Directo seria = Costo directo anterior (\$10000) + el valor de la pendiente de costo de la actividad B (pendiente de costo = \$100) y la actividad I (pendiente de costo = \$100) = \$10200.

El nuevo Costo Indirecto = El costo por día * numero de días del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 26días = \$5200días

Costo total = \$10200+ \$5200 = \$15400

Utilidad sale de restar el costo total de la condición en tiempo normal con el costo total de la condición actual.

Utilidad = \$15600 – 15400 = +200

Tabla 20. Calculo de tiempo y costos de la 5ª reducción

| DURACIONES | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| ACT | Pend de Costo | Tn = 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 |
| A | 150 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| B | 100 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 | 7 |
| C | 200 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| D | 300 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| E | 300 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| F | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| G | 200 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| H | 500 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| I | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 |
| J | 100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 | 9500 | 9650 | 9800 | 10000 | 10200 |
| Costo Indirecto | | 6200 | 6000 | 5800 | 5600 | 5400 | 5200 |
| Costo total | | 15600 | 15500 | 15450 | 15400 | 15400 | 15400 |
| Utilidad | | | +100 | +150 | +200 | +200 | +200 |

Tabla 21. Resultados de los tiempos de la quinta reducción

| Rutas | TN | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| B-E-A | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 |
| B-E-H-G | 28 | 27 | 27 | 27 | 26 | 25 |
| I-C-A | 30 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 |
| I-C-H-G | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 | 25 |
| I-J-G | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 13 |

Continuamos reduciendo el proyecto en un día de 26 días pasamos a 25 días nos damos cuenta que en la condición de 26 días apareció una segunda ruta critica que debemos considerar al bajar el proyecto a 25 días porque ya tocaría reducir las dos rutas criticas simultáneamente en un día surge el interrogante que actividades se pueden reducir: la primera ruta critica esta compuesta por la actividad B (pendiente de costo = \$100), actividad E (pendiente de costo = \$300), actividad A (pendiente de costo = \$150). Y la segunda ruta critica esta compuesta por la actividad I (pendiente de costo = \$100), actividad C (pendiente de costo = \$200), actividad A (pendiente de costo = \$150).

Se observa si hay actividades comunes entre las dos rutas (se escoge la actividad común), si no existe se escoge en cada una de las rutas la actividad que tenga la menor pendiente de costo; en este caso se escoge la actividad C (pendiente de costo = \$200) y la actividad E (pendiente de costo = \$300). Y se proceden a reducirse en un día; ya que la actividad B y la actividad I no se pueden reducir más.

El nuevo costo Directo seria = Costo directo anterior (\$9900) + el valor de la pendiente de costo de la actividad C (pendiente de costo = \$200) y la actividad E (pendiente de costo = \$300)= \$10700.

El nuevo Costo Indirecto = El costo por día * numero de días del proyecto

Costo Indirecto = \$200 * 25días = \$5000días

Costo total = \$10700+ \$5000 =\$15700

Utilidad sale de restar el costo total de la condición en tiempo normal con el costo total de la condición actual.

Utilidad = \$15600 – 15700 = -100

Tabla 22. Calculo de tiempo y costos de la 6ª reducción

| ACT | Pend de Costo | Tn = 31 | DURACIONES | | | | | | |
|------------------------|---------------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 |
| A | 150 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| B | 100 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| C | 200 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 11 |
| D | 300 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| E | 300 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 |
| F | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| G | 200 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| H | 500 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| I | 100 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | 6 |
| J | 100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Costo Directo | | 9400 | 9500 | 9600 | 9800 | 10000 | 10200 | 10700 | 11200 |
| Costo Indirecto | | 6200 | 6000 | 5800 | 5600 | 5400 | 5200 | 5000 | 4800 |
| Costo total | | 15600 | 15500 | 15450 | 15400 | 15400 | 15400 | 15700 | 16000 |
| Utilidad | | | +100 | +150 | +200 | +200 | 200 | -100 | -400 |

En el ultimo calculo de la utilidad se observa que la es negativa (-100); es decir genera perdidas seguimos reduciendo las actividades la utilidad sigue siendo

negativa por lo tanto el punto de optimización es donde se obtiene la mayor utilidad en el menor tiempo posible en este caso se presenta a los 26 días con una utilidad de \$200día.

Tabla 23. Resultados de los tiempos de la sexta reducción

| Rutas | | TN | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| B-E-A | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 |
| B-E-H-G | 28 | 27 | 27 | 27 | 26 | 25 | 24 |
| I-C-A | 30 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 |
| I-C-H-G | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 | 25 | 24 |
| I-J-G | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 13 | 13 |