



INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN INGENIERÍA II

Planeación y control de proyectos
con PERT CPM



Ingeniería de Sistemas
Ing. Néstor Muñoz

Logro de sesión

- Al culminar la sesión, el estudiante diseña modelos de redes PERT CPM en base a la definición de actividades, así mismo elabora el programa de actividades según el cálculo realizado para modelos de redes PERT CPM.

INTRODUCCIÓN

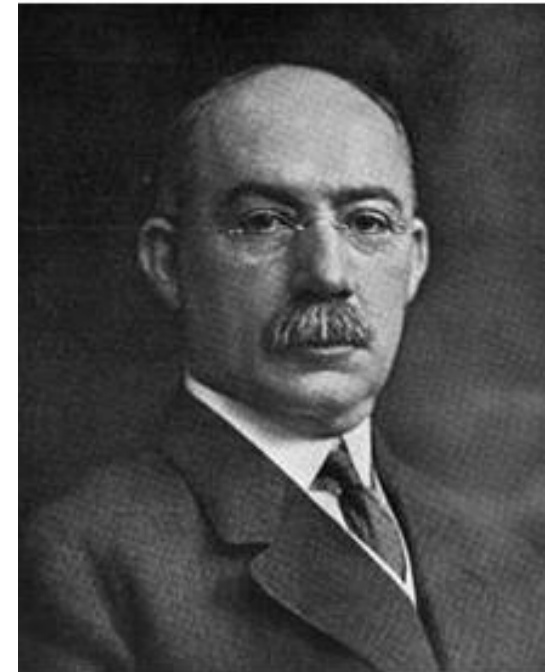


En la historia de la humanidad, el hombre se ha enfrentado al reto de elaborar proyectos cada vez más grandes y complejos, de tal forma que surge la necesidad de coordinar numerosas actividades en toda la organización. Entre 1958 y 1959 se desarrolla en Estados Unidos, el proyecto de construcción del cohete polaris, durante el cuál se empiezan a aplicar las novedosas técnicas de control de proyectos PERT y CPM.

Algunas de las aplicaciones más frecuentes de éstas técnicas son: Proyectos de construcción, programación de computadoras, programación y propuestas de licitaciones, la planeación de mantenimiento y la instalación de sistemas de computadoras.

Diagrama de Gantt

La planificación y programación de proyectos complejos, sobre todo grandes proyectos unitarios no repetitivos, comenzó a ser motivo de especial atención al final de la Segunda Guerra Mundial, donde el diagrama de barras de Henry Gantt era la única herramienta de planificación de la que se disponía, que fue un método innovador en su momento, pero muy limitado.



Henry Laurence Gantt (1861-1919)



CPM

El origen del CPM se sitúa entre diciembre de 1956 y febrero de 1959. En aquellos momentos, la compañía norteamericana E.I. du Pont (DuPont) estaba buscando cómo utilizar uno de los primeros ordenadores comerciales, el "UNIVAC1". Los gestores de DuPont se dieron cuenta de que planificar, estimar y programar parecía ser el mejor uso que la empresa podría darle a este ordenador. Este trabajo se asignó a Morgan Walker, de la Engineering Services Division de Du Pont, que junto con el matemático James E. Kelley, Jr, que trabajaba en Remington Rand, consiguieron poner a punto el método, con el objetivo de controlar el mantenimiento de los proyectos de plantas químicas de DuPont. A mediados de 1957, esta empresa estaba interesada en ampliar cerca de 300 fábricas, lo cual implicaba un gran número de actividades (por lo menos unas 30000) lo cual no se podía abordar con los diagramas de Gantt. El objetivo era controlar y optimizar los costos de operación de las actividades de un proyecto. En este método, cada una de las tareas tenía una duración exacta, conocida de antemano.



Universidad
Nacional de
Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"



PERT



William Francis Raborn (1905-1990) Militar estadounidense.

El origen de los trabajos de la técnica PERT empezaron formalmente en enero de 1957, siendo paralelo al del CPM, pero su origen fue en el ámbito militar. Se desarrolló en la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada de los EEUU, al reconocer el almirante William. F. Raborn que se necesitaba una planificación integrada y un sistema de control fiable para el programa de misiles balísticos Polaris. Con su apoyo se estableció un equipo de investigación para desarrollar el PERT o “Program Evaluation Research Task”. Así, la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina de los Estados Unidos de América, en colaboración con la división de Sistemas de Misiles Lockheed (fabricantes de proyectiles balísticos) y la consultora Booz, Allen & Hamilton (ingenieros consultores), se plantean un nuevo método para solucionar el problema de planificación, programación y control del proyecto de construcción de submarinos atómicos armados con proyectiles «Polaris».



Universidad
Nacional de
Cajamarca
“Norte de la Universidad Peruana”

Definiciones

- Los métodos:

CPM – Critical Path Method

(Método de la Ruta Crítica o del camino crítico) y

PERT –Program Evaluation and Review Technique (Técnica de evaluación y revisión del programa),

se basan en redes y tienen por objeto auxiliar en la planeación, programación y control de proyectos.

PROYECTO

- Se define un proyecto como un conjunto de actividades interrelacionadas, en la que cada actividad consume tiempo y recursos.
- El objetivo del CPM y PERT es contar con un medio analítico para programar las actividades.



USOS PRINCIPALES

1. ***Para determinar la duración mínima de un proyecto*** si la duración de sus actividades es constante ó su variación es tan pequeña que se puede asumir como constante, entonces recibe el nombre de PERT determinístico. Si la duración de sus actividades es variable recibe el nombre de PERT probabilístico y estaremos interesados en determinar la probabilidad de que el proyecto se termine dentro del tiempo predeterminado.
2. ***Para identificar las actividades que pueden ser cuello de botella*** y que conforman la ruta crítica. El conocer dichas actividades tiene un efecto directo sobre la agenda del tomador de decisiones y sobre la elección del personal responsable del cumplimiento del cronograma de dichas actividades, que puede causar consecuencias económicas graves para la empresa e inclusive para su existencia.
3. ***Evaluar los efectos de cambios en el programa del proyecto.***

El primer paso para aplicar el sistema PERT ó CPM a un proyecto, es representar el proyecto en forma de una red, para lo cual es útil la construcción de un diagrama Gantt, que identifica claramente los diferentes tipos de tiempos a tener en cuenta para la representación gráfica de la red PERT ó CPM.

TÉCNICAS

Existen dos técnicas para representar los proyectos, una denominada ACTIVIDAD - RAMAL, en la cual, las actividades van sobre los ramales de la red y los nodos representan los sucesos; y otra llamada ACTIVIDAD - NODO, en la que, las actividades van sobre los nodos y los ramales indican la precedencia de las actividades.



REPRESENTACIÓN EN RED



Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

Cada actividad del proyecto se representa con un ARCO que apunta en la dirección de avance del proyecto.

Los NODOS de la red establecen las relaciones de PRECEDENCIA entre las diferentes actividades del proyecto.

REGLAS PARA CONFIGURAR UNA RED:

| | | | | | |
|--|---|--|--|---|--|
| Cada actividad se representa con un ARCO y uno solo. | Cada actividad se debe identificar con dos nodos distintos. | Para mantener las relaciones de precedencia correctas, se deben contestar las siguientes preguntas cuando se agrega a la red cada actividad: | ¿Qué actividades deben anteceder inmediatamente a la actividad actual? | ¿Qué actividades deben seguir inmediatamente a la actividad actual? | ¿Qué actividades deben efectuarse en forma concurrente o simultánea con la actividad actual? |
|--|---|--|--|---|--|

FASES DE PLANEACIÓN DE UN PROYECTO CON CPM Y PERT



Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

Se definen las actividades del proyecto, sus relaciones de precedencia y sus necesidades de tiempo.

El proyecto se traduce en una red que muestre las relaciones de precedencia entre actividades.

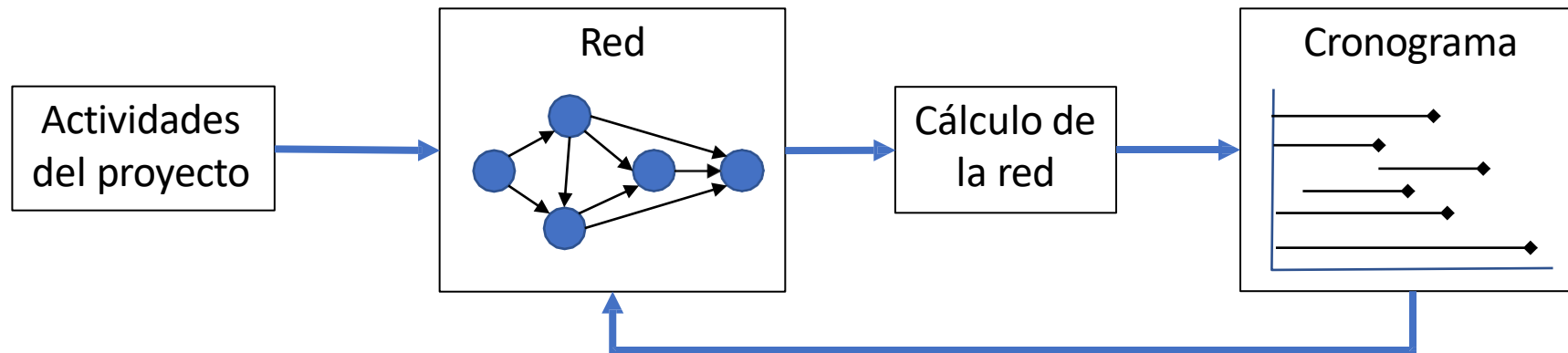
Se hacen cálculos específicos de redes, que forman la base del desarrollo del programa del proyecto en función del tiempo.



FASES DE PLANEACIÓN DE UN PROYECTO CON CPM Y PERT



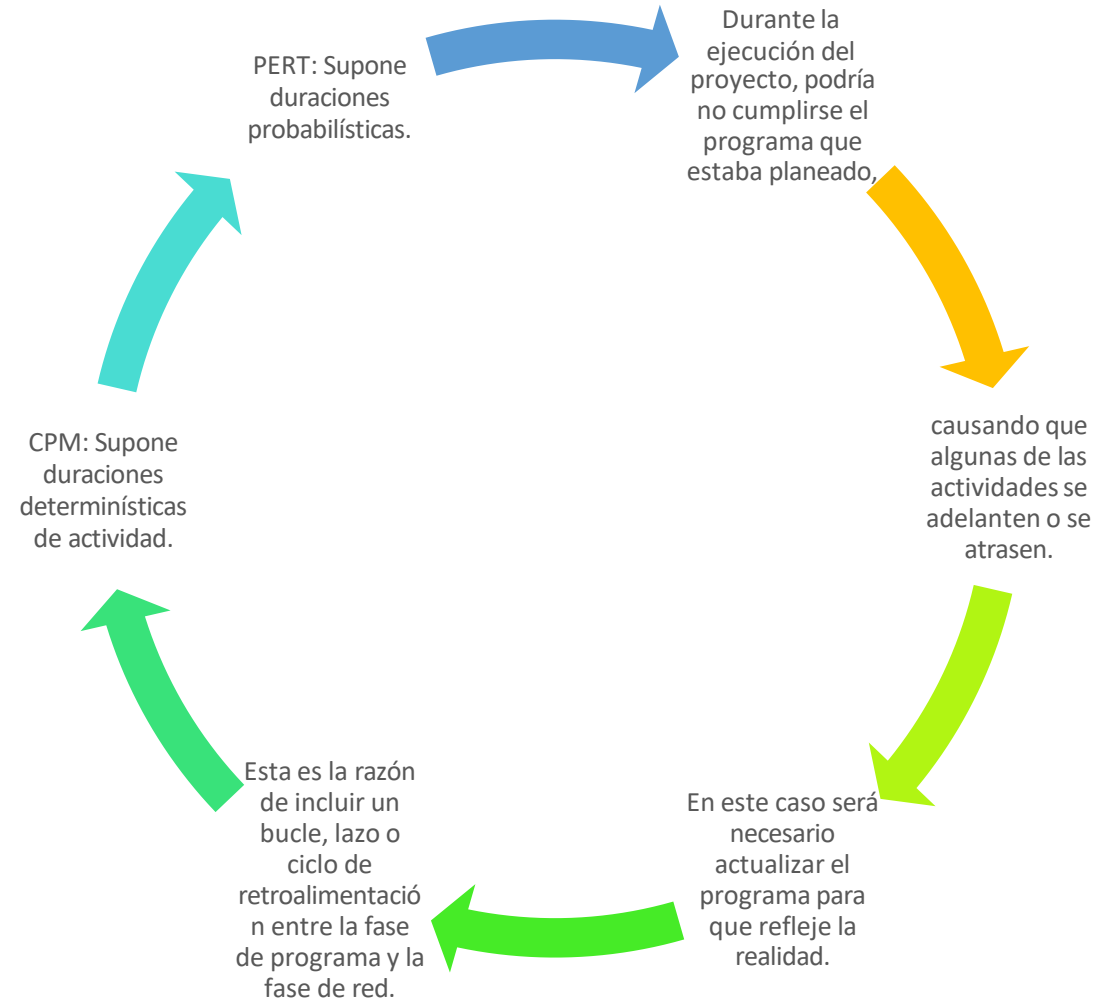
Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"



FASES DE PLANEACIÓN DE UN PROYECTO CON CPM Y PERT

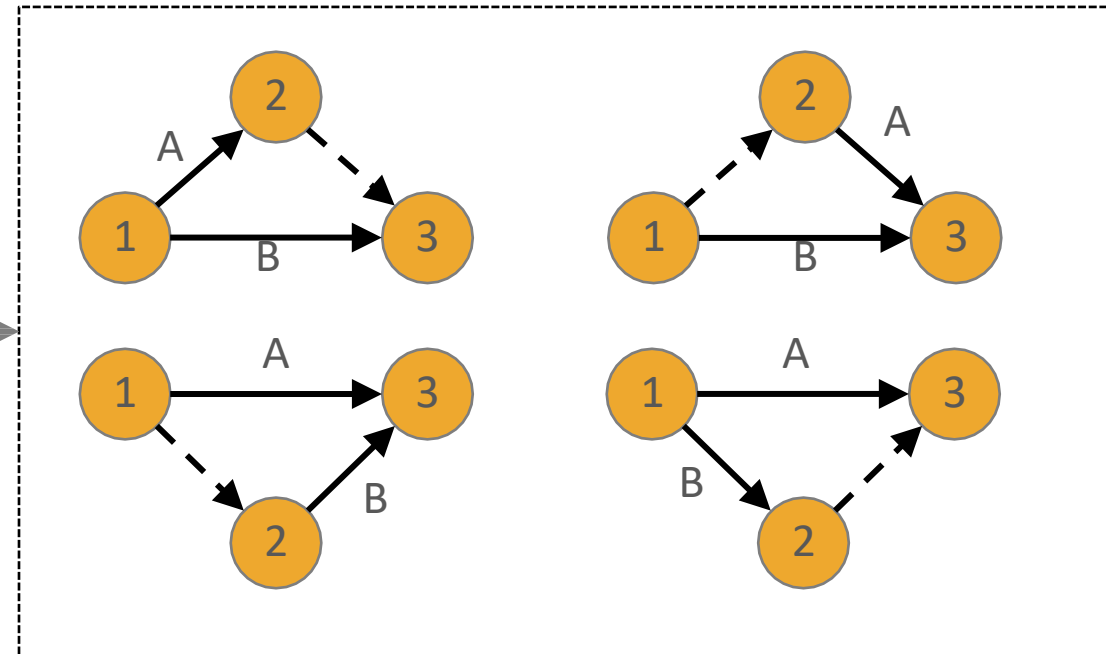
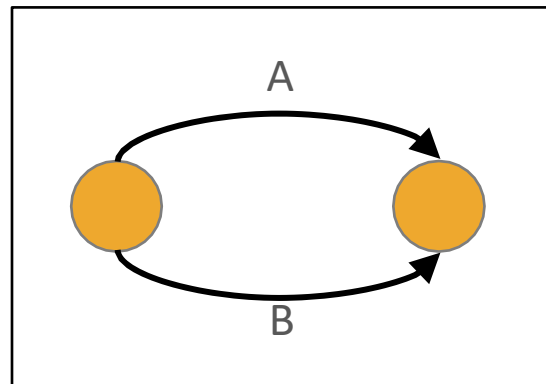


Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"



REPRESENTACIÓN EN RED

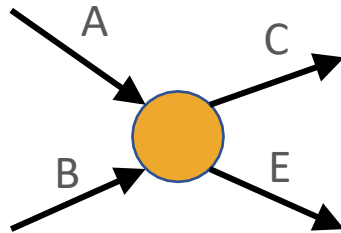
- La figura muestra cómo se puede usar una actividad FICTICIA para representar dos actividades concurrentes A y B. Por definición la actividad ficticia normalmente se representa con un arco de línea interrumpida, no consume tiempo o recursos.
- La inserción de una actividad ficticia en una de las cuatro formas mantiene la concurrencia de A y B y también proporciona nodos finales únicos para las dos actividades.



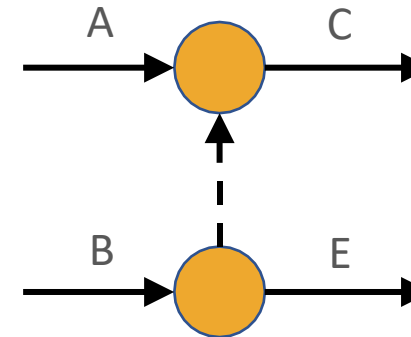
Uso de actividad ficticia para
representación única de las
actividades concurrentes A y B.

REPRESENTACIÓN EN RED

- Para asegurar la precedencia correcta entre las actividades, considere por ejemplo: La actividad C comienza de inmediato después de haber terminado A y B. La actividad E se inicia después de que solo termina la actividad B.



Incorrecto



Correcto

PERT DETERMINÍSTICO

Aquí se asume que el tomador de decisiones ó administrador del proyecto, conoce suficientemente las actividades, tanto, que puede asegurar que su duración se puede considerar constante



Ejemplo 01:

Se ilustra el método PERT con el siguiente ejemplo:

Se proporciona la siguiente información sobre un proyecto que está compuesto por seis (6) actividades:

| Actividad | Actividades precedentes | Tiempo estimado (Semanas) |
|-----------|-------------------------|---------------------------|
| A | Ninguna | 5 |
| B | Ninguna | 1 |
| C | B | 2 |
| D | A, C | 4 |
| E | A, C | 6 |
| F | D, E | 3 |

Determine:

- Construya un diagrama Gantt.
- Construya la red del proyecto.
- Encuentre el tiempo de inicio más pronto, el tiempo de inicio más tarde, el tiempo de finalización más temprano, el tiempo de finalización más tarde y el tiempo de holgura, para cada una de las actividades del proyecto.
- Si todas las demás actividades se llevan el tiempo estimado, ¿Cuál es el tiempo máximo que puede atrasarse la actividad D sin retrasar la terminación del proyecto?

Solución:

Diagrama de Gantt:

Consiste básicamente en una tabla de doble entrada, en donde las actividades se representan sobre las filas y el tiempo transcurrido del proyecto sobre las columnas. Para cada actividad se asignan dos filas: En la primera se representa mediante barras horizontales la duración de cada actividad, teniendo en cuenta la precedencia y empezando cada actividad lo más pronto posible. Sobre la segunda fila de cada actividad se representa mediante barras horizontales la duración de cada actividad, teniendo en cuenta la precedencia pero empezando cada actividad lo más tarde posible, sin alterar la duración total mínima del proyecto.



Solución:

Diagrama de Gantt:

| Actividades | Duración en semanas | | | | | | | | | | | | | | Observaciones |
|-------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| A | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | |

Solución:

Diagrama de Gantt:

Aquí, sobre el diagrama Gantt se han colocado, las barras en la primera fila de cada actividad, teniendo en cuenta las precedencias e iniciando cada actividad, lo más pronto posible. El resultado final indica que el proyecto se puede realizar en un tiempo mínimo de 14 semanas.

Ahora colocamos el segundo juego de barras, sobre la segunda fila de cada actividad, teniendo en cuenta las precedencias e iniciando cada actividad lo más tarde posible, sin perjudicar la duración mínima total del proyecto de 14 semanas.



Solución:

Diagrama de Gantt:



| Actividades | Duración en semanas | | | | | | | | | | | | | | Observaciones |
|-------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| A | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | Actividad Crítica |
| B | ■ | | ■ | | | | | | | | | | | | Holgura de 2 semanas |
| C | | ■ | ■ | | ■ | | | | | | | | | | Holgura de 2 semanas |
| D | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | Holgura de 2 semanas |
| E | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | Actividad Crítica |
| F | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | Actividad Crítica |

Solución: Diagrama de Gantt:

Fíjese que las actividades A, E y F, su inicio no se puede posponer, sin alterar la duración total mínima del proyecto de 14 semanas, ello obliga a que se ejecuten de manera precisa, cualquier atraso en alguna ó en varias de ellas tiene un efecto directo sobre la duración total del proyecto. Si la actividad A aumenta su duración en una semana, la duración total del proyecto aumentará en una semana. Éstas actividades reciben el nombre de **ACTIVIDADES CRÍTICAS** y deben ser supervisadas por el tomador de decisiones ó dueño del proyecto, de manera exhaustiva, disponer del mejor personal, que garantice su realización sin demoras. Igualmente se debe supervisar el arribo a tiempo de las materias primas para éstas actividades y todo aspecto que tenga que ver con ellas ó que pueda directa ó indirectamente ocasionar duraciones adicionales.

ACTIVIDAD NO CRÍTICA: permite alguna holgura en su programación, de modo que el tiempo de inicio de la actividad se puede adelantar o retrasar dentro de ciertos límites, sin afectar la fecha de terminación de todo el proyecto.

RUTA CRÍTICA: Las actividades críticas por definición constituyen la ruta más larga que abarca el proyecto, es decir que la sumatoria de las actividades de una ruta crítica determinará la duración estimada del proyecto. Puede darse el caso en el que se encuentren más de una ruta crítica.

Solución: Diagrama de Gantt:

Fíjese que las actividades B, C y D tienen una holgura de 2 semanas, lo cual quiere decir que su inicio más pronto se puede retrasar como máximo 2 semanas, sin que afecte la duración mínima total del proyecto de 14 semanas.

Del gráfico Gantt se deduce que cada actividad tiene cuatro tiempos significativos a tener en cuenta, y son:

TIEMPO DE INICIO MÁS TEMPRANO: Es la fecha más pronta posible para iniciar las labores de la actividad.

TIEMPO DE INICIO MÁS TARDE: Es la fecha más tarde posible para iniciar las labores de la actividad, sin alterar la duración total mínima del proyecto.

TIEMPO DE TERMINACIÓN MÁS TEMPRANO: Es la fecha más pronta posible para finalizar las labores de la actividad.

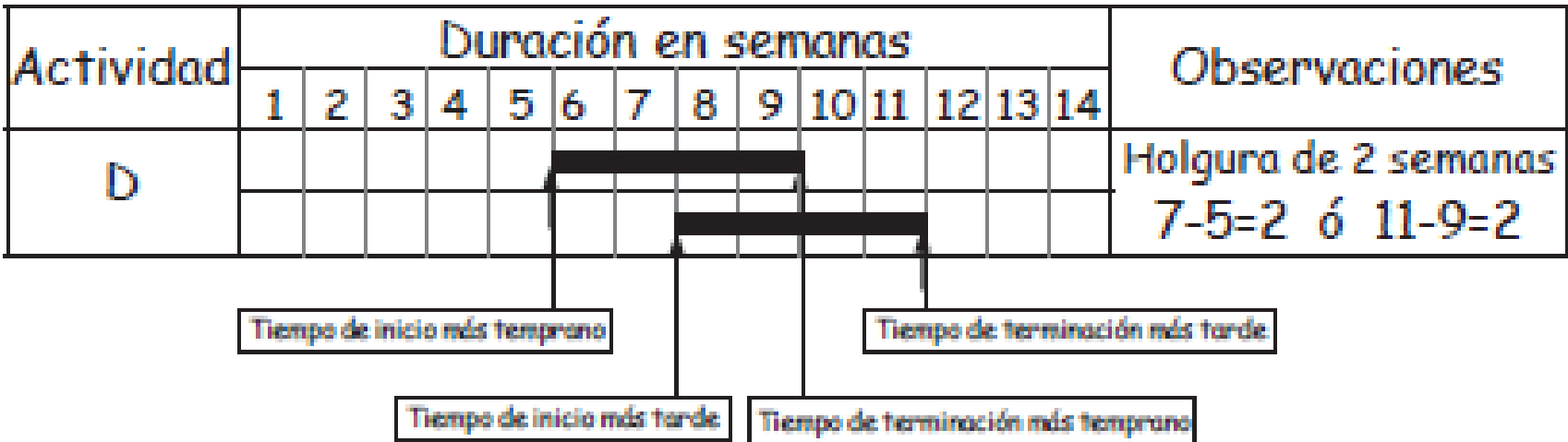
TIEMPO DE TERMINACIÓN MÁS TARDE: Es la fecha más tarde posible para finalizar las labores de la actividad, sin alterar la duración total mínima del proyecto.

Solución: Diagrama de Gantt:

HOLGURA: Es el tiempo máximo que una actividad puede retrasarse sin alterar la duración total mínima del proyecto. Es la diferencia entre el tiempo de inicio más tarde y el tiempo de inicio más temprano ó la diferencia entre el tiempo de terminación más tarde y el tiempo de terminación más temprano.

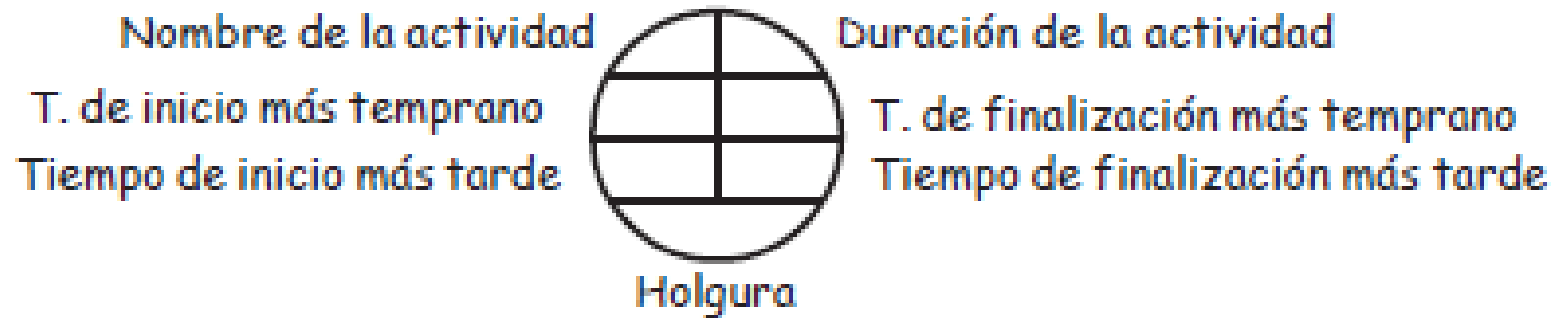
$$\text{HOLGURA} = \text{TIEMPO DE INICIO MÁS TARDE} - \text{TIEMPO DE INICIO MÁS TEMPRANO}$$

$$\text{HOLGURA} = \text{T. DE TERMINACIÓN MÁS TARDE} - \text{T. DE TERMINACIÓN MÁS TEMPRANO}$$



REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED

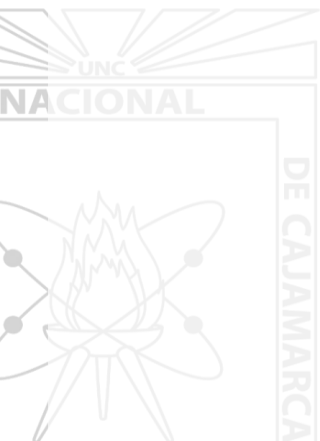
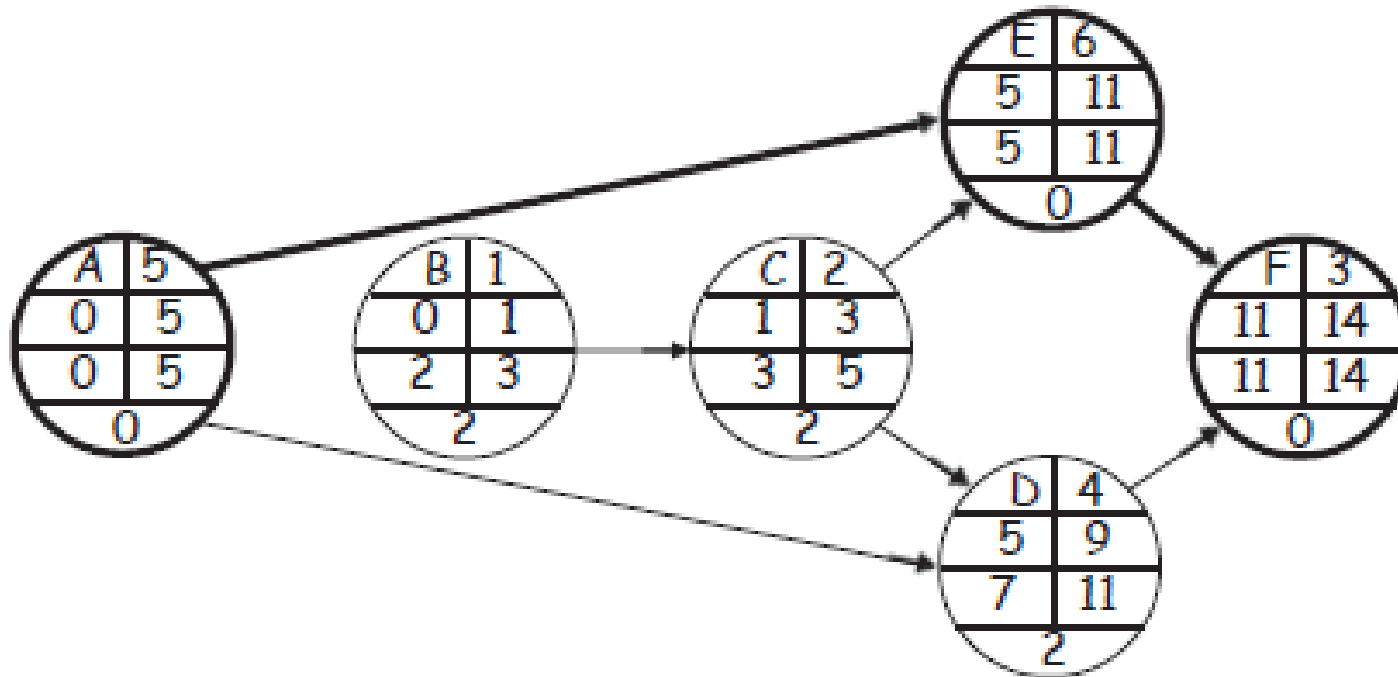
El paso siguiente consiste en representar el proyecto mediante una red, empleando la técnica ACTIVIDAD - NODO. En los nodos colocamos las actividades, teniendo en cuenta las precedencias, para lo cual usamos los ramales ó flechas que unen cada par de nodos. La simbología que se usará para los nodos es la siguiente:



REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED



Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"



REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED

Observaciones:

Al menos debe tener un nodo origen y un nodo destino con holgura cero.

La unión de los nodos que tengan holgura cero, conforman una cadena que se denomina LA RUTA CRÍTICA. En una red pueden haber varias rutas críticas; En nuestro caso la ruta crítica la conforman

las actividades A-E-F y el tiempo mínimo del proyecto es de 14 semanas.

Explicación de los cálculos

1. Las actividades A y B, por carecer de precedencias, pueden iniciar lo más pronto posible, «yá», esto lo denominamos el tiempo de inicio más temprano ó sea cero (0). A dicho tiempo de inicio más temprano, le sumamos la duración de la respectiva actividad, obteniendo el tiempo de finalización más temprano. Para el caso de la actividad A:

$$\text{Tiempo de finalización más temprano de A} = 0 + 5 = 5.$$

REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED

Para calcular el tiempo de inicio más temprano de la actividad E, debemos tener en cuenta el tiempo de terminación más temprano de todas las actividades que la preceden, para éste caso, las actividades A y C cuyos tiempos de terminación más temprano son: 5 y 3 semanas respectivamente, luego, como la actividad E no puede iniciar hasta que las actividades precedentes A y C hayan terminado no puede empezar hasta que la actividad A, que tiene el mayor tiempo de terminación mas temprano, finalice; por ello el tiempo de inicio más temprano de la actividad E es 5 semanas.

Tiempo de inicio
más temprano de
una actividad con
precedencias

=

Al mayor tiempo de
terminación más tem-
prano de las activida-
des precedentes



REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED

Fíjese que la duración mínima del proyecto es igual al mayor tiempo de terminación más temprano de las actividades que finalizan, que no son precedentes de otras, para nuestro caso solo hay una, la actividad F, cuyo tiempo de terminación más temprano es de 14 semanas, luego ésta es la menor duración del proyecto.

Tiempo total mínimo
del proyecto

=

Al mayor tiempo de terminación más
temprano de las actividades que no son
precedentes de otras
(Nodos terminales)

Fíjese que los cálculos siguen una secuencia lógica de izquierda a derecha, igual a la secuencia lógica de la red. 5. Para el cálculo de los tiempos de inicio y de terminación más tarde es conveniente hacerlo de derecha a izquierda.

REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED

El tiempo de finalización más tarde de todos los nodos finales, es igual al tiempo total mínimo del proyecto. Para nuestro caso 14 semanas, por ello la actividad F (nodo terminal = no es precedente de ninguna otra actividad) tiene como tiempo de terminación más tarde, 14 semanas.

El tiempo de inicio más tarde es igual al tiempo de terminación más tarde menos la duración de la actividad. Para la actividad F el cálculo correspondiente es: $14 - 3 = 11$ semanas.

$$\boxed{\text{Tiempo de inicio más tarde}} = \boxed{\text{Tiempo de terminación más tarde}} - \boxed{\text{Duración de la actividad}}$$

REPRESENTACIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE UNA RED

Fíjese que el tiempo de terminación más tarde de la actividad C depende del tiempo de inicio más tarde de las actividades E y D cuyos valores respectivos son 5 y 7 semanas, debemos escoger el menor de los dos en atención a que las actividades E y D no pueden iniciar hasta que la actividad C termine. Para nuestro caso, el tiempo más tarde de terminación de la actividad C es igual al $\min\{5,7\} = 5$ semanas.

Tiempo de
finalización
más tarde

=

Al menor tiempo de inicio
mas tarde de las activida-
des que precede

Fíjese que nunca pueden aparecer HOLGURAS NEGATIVAS, todas deben ser > 0
Luego la respuesta a las preguntas a) y b) de nuestro problema han sido contestadas y explicadas en detalle.

Respuesta a la pregunta

C): Si todas las actividades se llevan el tiempo estimado, el tiempo máximo que puede atrasarse la actividad D es igual a su HOLGURA, esto es dos (2) semanas.

Actividad de sesión

Práctica de clase.

Dé un ejemplo de proyecto con algunas actividades, de su propio entorno, donde podría aplicar CPM así mismo:

- a) Construya un diagrama Gantt.
- b) Construya la red del proyecto.
- c) Encuentre el tiempo de inicio más pronto, el tiempo de inicio más tarde, el tiempo de finalización más temprano, el tiempo de finalización más tarde y el tiempo de holgura, para cada una de las actividades del proyecto.



Gracias



- Néstor Muñoz
- Docente



- nestor.munoz@unc.edu.pe



941434300



Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"



Universidad Nacional de Cajamarca



www.unc.edu.pe/



Universidad Nacional de Cajamarca