

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA

PROGRAMACION Y CONTROL DE PROYECTOS POR EL METODO
DE TRAYECTORIAS CRITICAS

TESIS DE GRADO POR
Manuel E. Calvo Vega.

San José, Costa Rica
Setiembre 1965

A MIS PADRES

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS DE GRADO:
PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

	Ing. Walter Sagot C. DECANO
TRIBUNAL	Lic. Víctor Segreda Víquez SECRETARIO
	Ing. Carlos Corrales V.

PROFESOR GUIA: Ing. Fernando Sánchez Arias

INDICE

INTRODUCCION	
DEFINICIONES	
CAPITULO <u>I</u>	Página 1
DISEÑO DEL DIAGRAMA DE ACTIVIDADES	1
DETALLES DE LAS ACTIVI- DADES	11
ASIGNACION DE TIEMPOS Y PROGRAMACION	12
 CAPITULO II	 17
ANALISIS DE TIEMPO	17
TRAYECTORIA CRITICA	20
HOLGURA	20
CARACTERISTICAS DE LAS ACTIVIDADES	21
RESULTADOS	24
 CAPITULO III	 26
ANALISIS DE COSTOS	26
RELACION ENTRE TIEMPO Y COSTOS DE LAS ACTIVI- DADES	26

CAPITULO IV	Página 40
ANALISIS DE TIEMPO PARA UN PROYECTO DE CARRETERA	40
DESCRIPCION DEL PROYECTO	40
LISTA DE ACTIVIDADES	42
CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA	45
ESTIMACIONES DE TIEMPO	47
CALCULOS EN EL DIAGRAMA	49
BIBLIOGRAFIA.	

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La planificación y el control de las actividades de un proyecto, se caracteriza siempre por las dificultades y obstáculos de que padecen. Cuando se aunan varios grupos de tareas a realizar, la responsabilidad por la falta de progreso tiende a diluirse. El tiempo se pierde al pasar el proyecto de unas manos a otras. Las faltas de comunicación crean obstrucciones. Se acumulan las demoras imprevistas.

Todo ello hace que las unidades encargadas de ejecutar las diferentes fases del proyecto busquen la forma de tener una visión en perspectiva del proyecto total.

El empleo de las técnicas tradicionales, tales como las gráficas de Gantt, no nos proporcionan esa visión. La forma de resolver ese problema se obtuvo con el método denominado de "Trayectoria o Camino Crítico", que si bien se desarrolló para la programación y control de proyectos grandes, han sido adaptados sus principios administrativos a proyectos más simples dando magníficos resultados.

El gráfico o carta de Gantt presenta ciertas limitaciones para el control y programación de un proyecto, ya que no es capaz de indicar la secuencia que deben seguir las respectivas actividades, ni la dependencia o coordinación de ellas, además no exhibe las actividades críticas, que son determinantes para el logro oportuno del proyecto con el objeto de prevenir futuras demoras, no indica cuales alternativas deben ser postpuestas ni el grado en que esto puede efectuarse, no se puede determinar el efecto general de una decisión alternativa, tampoco se puede apreciar el efecto de una decisión en el proyecto, y muchas otras más que no son del caso mencionar. Todo lo cual trajo como consecuencia que se desarro-

llara el método de programación y control de "Trayectoria o Camino Crítico".

El método de "Camino Crítico" es esencialmente una representación gráfica de los razonamientos que se necesitan para hacer una buena labor administrativa. El diagrama permite al administrador revisar sus pensamientos y corregirlos donde sea necesario.

El procedimiento consiste principalmente en dividir el proyecto a realizar en distintos trabajos, asignar un tiempo estimado a cada uno de ellos y representar el orden de los trabajos mediante un diagrama en forma de red. Luego estudiando los recorridos que se pueden seguir en la red, se determina cual es la trayectoria o sucesión de trabajos que toma mayor cantidad de tiempo. Esa trayectoria es la "Trayectoria o Camino Crítico" pues representa la serie de impedimentos que más retarda el progreso del programa a realizar, hasta que se aceleran los trabajos de esa serie o sucesión.

Este método presenta características muy importantes puesto que nos permite hacer un análisis muy completo del proyecto, siendo posible obtener una clara visualización de las interrelaciones entre las diferentes actividades permitiendo con esto, que podamos actuar sobre aquellas actividades que son críticas para nuestro proyecto con el objeto de no aumentar su finalización, o por el contrario para ver la forma en que se pueden activar, mediante una utilización más efectiva, de nuestros recursos tanto monetarios como humanos pues permite un mejor manejo de ellos.

El método se aplica en general a toda clase de proyectos sean estos grandes o pequeños, obligando a cada caso a planificar en una forma lógica y completa, permitiendo establecer zonas o áreas de responsabilidad de

acuerdo con el tipo de actividades que se presenten en el proyecto.

Además permite que se pueda trabajar en una forma continua y cíclica , de acuerdo con el avance del proyecto ya que se pueden ir ajustando las diferentes duraciones de las actividades según el desarrollo del programa inicialmente elaborado, permitiendo por lo tanto hacer simulaciones matemáticas con el empleo de máquinas computadoras.

En este trabajo se presenta en el capítulo I, la metodología necesaria para la confección del diagrama o malla, indicándose la forma de estimar los tiempos de cada actividad según sea el proyecto que se analice. En el capítulo II, se indica la teoría del análisis de tiempo para un proyecto.

En el capítulo III, se presenta la teoría del análisis de costos de un proyecto junto con dos ejemplos numéricos que muestran la mecánica de la aplicación del método.

En el capítulo IV se analiza un proyecto de construcción de una carretera para determinar su camino crítico y el tiempo de su ejecución.

Se hace únicamente el análisis de tiempo debido a la falta de información referente a costos, lo que impide efectuar un análisis de ellos, con el objeto de llegar a obtener una óptima programación de todas las actividades que componen el proyecto.

DEFINICIONES

DEFINICIONES

ACTIVIDAD: Una actividad es un elemento consumidor de tiempo en la ejecución de un trabajo. Se representa en el diagrama por medio de una flecha.

EVENTO O SUCESO: Es un punto en el tiempo, indicando el comienzo o el final de una o más actividades. El evento no consume ni tiempo ni recursos y se representa generalmente en el diagrama como en círculo o un rectángulo.

ACTIVIDAD FICTICIA: Es una actividad que no consume ni tiempo ni recursos usada para mantener una correcta relación de prece - dencia entre las actividades. No es descriptiva de tra - bajo.

HOLGURA DE UN SUCESO: Es el máximo tiempo que un suceso puede ser retarda - do sin atrasar la fecha de finalización del proyecto.

HOLGURA TOTAL: Es la cantidad de tiempo que se puede retardar una ac - tividad sin aumentar la duración del proyecto.

HOLGURA LIBRE: Es la cantidad de tiempo que se puede retardar una ac - tividad sin perturbar el comienzo de las siguientes ac - tividades.

CAMINO CRITICO: El camino crítico de un diagrama es la trayectoria en

tre el suceso inicial y el suceso final (objetivo) que requiere la máxima cantidad de tiempo. Esta secuencia de actividades y sucesos presentarán valores de holgura iguales a cero.

ACTIVIDAD

CRITICA: Es una actividad a lo largo del camino crítico.

DIAGRAMA

O MALLA: Es una representación esquemática del plan de un programa o proyecto, que muestra la secuencia e interrelaciones de las diferentes actividades y sucesos de que consta dicho plan.

PLAZO MAS BREVE DE REALIZACION DE UN

SUCESO (T_E): Representa la fecha más breve desde el inicio del proyecto en que se puede completar un suceso.

PLAZO MAS LARGO DE REALIZACION DE UN

SUCESO (T_L): Representa el tiempo máximo en que se puede alcanzar un suceso, sin retardar la duración del proyecto.

FECHA MAS BAJA DE INICIO DE UNA ACTI

VIDAD (T_{E_i}): Representa la fecha más baja desde el comienzo del proyecto en que se puede iniciar una actividad.

FECHA MAS BAJA DE TERMINO DE UNA AC

TIVIDAD (T_{E_j}): Representa la fecha más baja desde el comienzo del proyecto en que se puede finalizar una actividad.

FECHA MAS ALTA DE INICIO DE UNA ACTI-

VIDAD (T_{L_i}): Representa la fecha más alta en que se puede iniciar una actividad, sin afectar la finalización del proyecto.

C A P I T U L O I

DISEÑO DEL DIAGRAMA DE ACTIVIDADES

CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA O RED.

Todo proyecto de ingeniería puede considerarse como una "red" de actividades subordinadas en que cada una de ellas debe completarse para lograr la realización del proyecto. La construcción de esta red requiere del conocimiento exacto de cada una de las etapas necesarias para llevar a cabo un determinado trabajo.

En cada caso será necesario determinar los recursos disponibles y fijar un determinado criterio ya sea de costos o plazo de ejecución según el cual se llevará adelante el proyecto. Tal criterio permitirá establecer cifras de tiempo y costo a cada una de las actividades de un proyecto.

Es posible una representación gráfica del proyecto por medio de la construcción de una "red" o diagrama de vectores en la cual cada actividad queda representada por un vector, conectándolos en forma tal que sea posible mostrar gráficamente la relación secuencial que existe entre estas actividades.

La construcción de este diagrama debe asignarse a una persona o grupo que esté familiarizado con el total del proyecto, desde un comienzo hasta el fin. Uno de los métodos más efectivos es sin duda el trabajo en equipo que permite un intercambio de ideas las cuales conducen a una mayor planificación. En la mayoría de los proyectos de envergadura será necesario el trabajo de un jefe del equipo que coordine las actividades de los diferentes departamentos que participen en el desarrollo del proyecto.

Cada sección responsable de trabajos específicos debe desarrollar su

propio diagrama, el cual será un detalle de situaciones más generales del diagrama maestro.

Debe desarrollarse una lista de todos los trabajos que participan en el desarrollo del proyecto, definiendo para cada trabajo las siguientes interrogantes.

- 1.- Qué debe preceder en forma inmediata a este trabajo.
- 2.- Qué debe seguir en forma inmediata a este trabajo.
- 3.- Qué otros trabajos pueden efectuarse en paralelo.

Sólo deben detallarse aquellos trabajos inmediatamente relacionados con el que se está considerando.

En la construcción de la red las actividades representadas por flechas, deben orientarse de izquierda a derecha. La longitud y sentido de estas flechas no tienen importancia en la distribución inicial de las actividades en la red.

La Figura 1, muestra el significado gráfico para representar una actividad. La cola de la flecha (i) representa el comienzo de la actividad y la cabeza (j) representa la finalización de dicha actividad. Cada actividad deberá tener números (i) y (j) diferentes de todas las otras actividades en la red. Esto provee un medio de identificación para cada flecha.



FIG. 1

Recordando que las actividades en el proyecto son definidas como faenas o tareas que consumen tiempo, es entonces necesario, para man- tener un orden secuencial lógico en la red, introducir una actividad - que no consuma tiempo. Este tipo de actividad se conoce con el nombre de "Actividades Ficticias" y se representan por medio de una flecha a trazos, como se muestra en la Figura 2, indicándose con ello una relación de interdependencia en vez de una actividad que consume tiempo. Por lo tanto, estas actividades ficticias tienen un tiempo cero.



FIG. 2

El comienzo o finalización de una o más actividades es marcado por un evento y se representa generalmente con un círculo. Los núme - ros (i) (j) que definen la actividad se colocan dentro de estos círcu - los. En la Figura 3 se muestra la forma como se representan los e - ventos y las actividades.

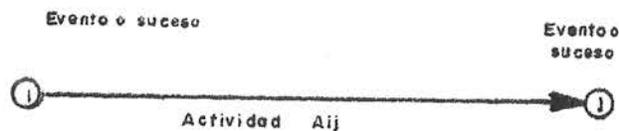


FIG. 3

El evento representa un momento o un punto a través del tiempo del proyecto y no representa trabajo.

Un evento no podrá ocurrir hasta tanto todas las actividades que lleguen a él no se hallan completado. Además, ninguna actividad que comience en este evento podrá empezar hasta tanto el evento no ocurra. En la Figura 4, la actividad B debe ser completada antes de que el evento número 3 ocurra, una vez que esto suceda la actividad C podrá comenzar. Las actividades A y C deberán ser completadas antes de que el evento 5 ocurra, pudiendo entonces empezar las actividades D y E. Luego, la actividad F no puede comenzar hasta tanto la actividad D no se finalice y ocurra el evento 7. Finalmente, cuando ambas actividades E y F sean completadas, el evento 9 ocurre y el proyecto finaliza.

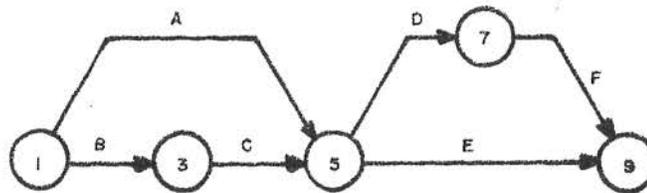


FIG. 4

Una actividad es definida por los números asignados a su evento inicial (i) y a su evento final (j). En la Figura 4, la actividad A es defi-

nida por los números 1-5, la actividad B por 1-3, la actividad D por 5-7, y así sucesivamente. Cada flecha deberá tener sus respectivos números (i) y (j). Cuando existen dos o más flechas entre los mismos eventos, se deberán emplear actividades ficticias para corregir esta irregularidad.

Esta aplicación se ilustra en la Figura N° 5.

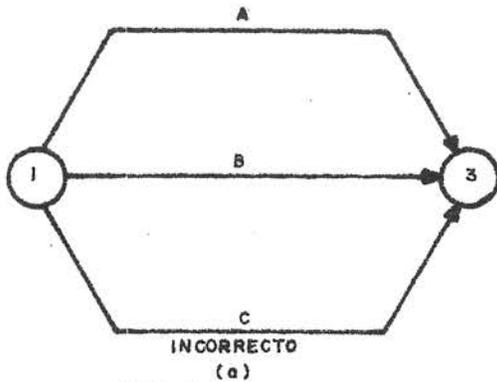


FIG. 5

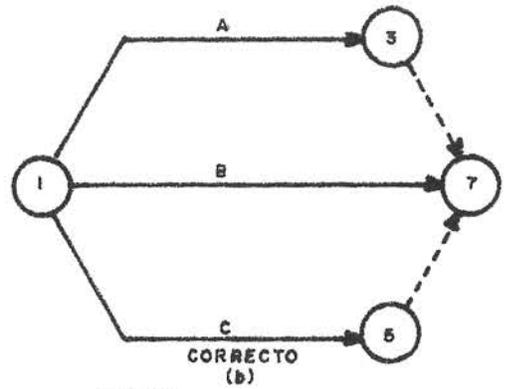


FIG. 5

La figura 5 (a) muestra tres actividades con los mismos números i-j, estos son 1-3. Para eliminar esta situación incorrecta, actividades ficticias son introducidas en la trayectoria de las actividades A y C, con lo cual cada actividad tendrá su numeración independiente como se indica en la Figura 5 (b).

Además de la numeración, las actividades son identificadas por una

breve descripción del trabajo a efectuarse. Esta descripción se coloca normalmente sobre la flecha de la actividad correspondiente. Luego, cuando los tiempos requeridos son determinados y asignados a cada actividad, se representan por números indicando valores de tiempo tales como horas, días o semanas. Estos números se colocan debajo de la flecha de la correspondiente actividad.

La figura 6 representa una actividad típica identificada en la forma - descrita anteriormente. Se trata de la colocación de la formaleta en un proyecto cualquiera, con sus números 1 y 2, siendo su duración de tres días.

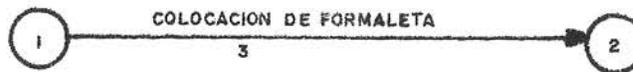


FIG. 6

Los ejemplos siguientes ilustran las interrelaciones entre las actividades y la lógica de su secuencia y de su representación gráfica.

Ejemplo N° 1:

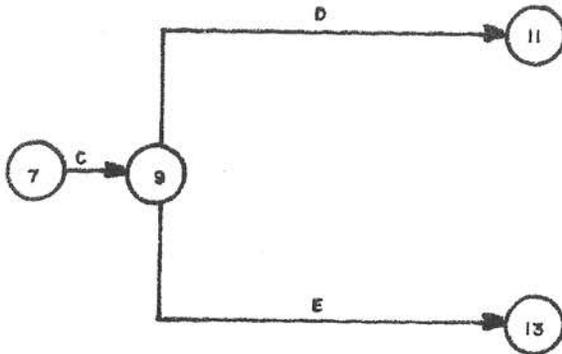
La actividad B depende de la finalización de la actividad A.

La actividad B (3-5) no puede comenzar hasta tanto la actividad A (1-3) no se complete.



Ejemplo N° 2:

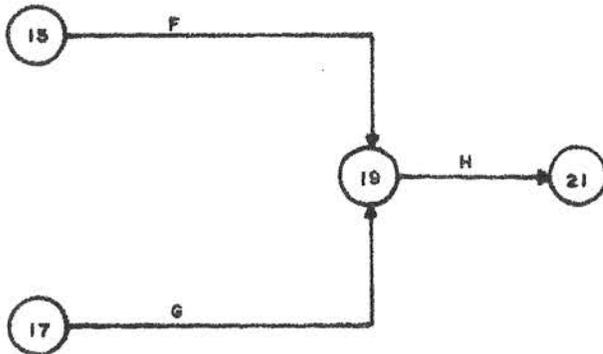
Las actividades D y E dependen de la finalización de la actividad C,



Las actividades D (9-11) y E (9-13) no pueden comenzar hasta tanto no se finalice la actividad C (7-9).

Ejemplo N° 3:

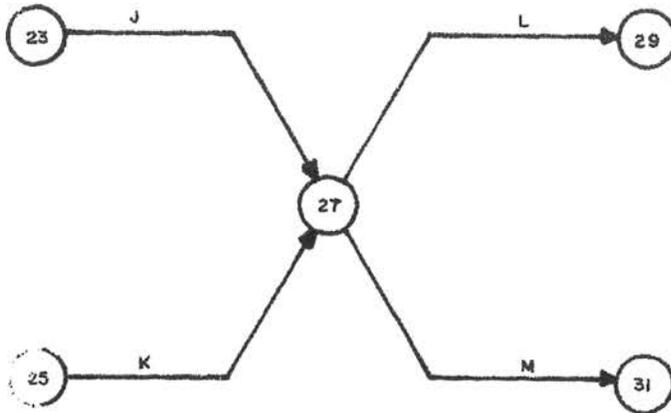
La actividad H depende de la finalización de dos actividades F y G.



La actividad H (19-21) no puede comenzar hasta tanto, las actividades F (15-19) y G (17-19) no se completen.

Ejemplo N° 4:

Las actividades L y M dependen de la finalización de las actividades J y K.

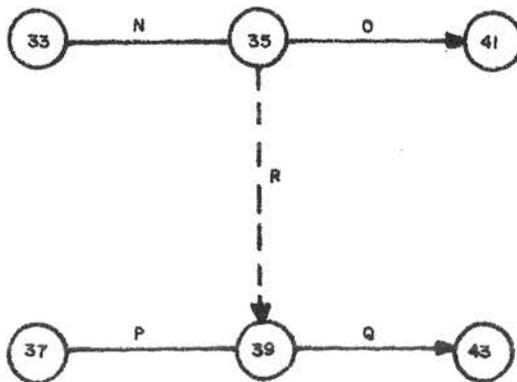


Las actividades L (27-29) y M (27-31) no pueden comenzar hasta que ambas actividades J (23-27) y K (25-27) no se completen.

Ejemplo N° 5:

La actividad O depende solamente de la finalización de la actividad N.

La actividad Q depende de la finalización de las actividades N y P.



La actividad O (35-41) no puede comenzar hasta que la actividad N (33-35) sea completada. La actividad Q (39-43) no puede comenzar hasta que sean completadas las actividades N(33-35) y P (37-39). La actividad R (35-39) es una actividad ficticia la cual restringe el comienzo de la actividad Q(39-43) hasta tanto la actividad N(33-35) no sea completada.

Utilizando los conceptos anteriormente mencionados y con el fin de ilustrar la técnica de la construcción del diagrama o red, se considera el ejemplo siguiente:

- 1.- Al comienzo del proyecto, las actividades iniciales A y B deben realizarse simultáneamente.
- 2.- C, D y E no pueden comenzar hasta que se finalice A.
- 3.- B debe ser completada antes de que F y H puedan comenzar. F también depende de la finalización de A.
- 4.- G no puede comenzar hasta que E y F se completen,
- 5.- J depende de la finalización de D y G.
- 6.- K sigue después de H.
- 7.- L sigue después de K y también depende de la finalización de D y G.
- 8.- La actividad final M, depende de la finalización de C, J, y L.

Teniendo ya establecidas las diferentes actividades que se presentan en nuestro proyecto y su interrelación, estamos en condiciones de construir el diagrama que representa gráficamente la secuencia de estas actividades.

Una de las posibles soluciones del ejemplo anterior es la que se indica en la Figura 7.

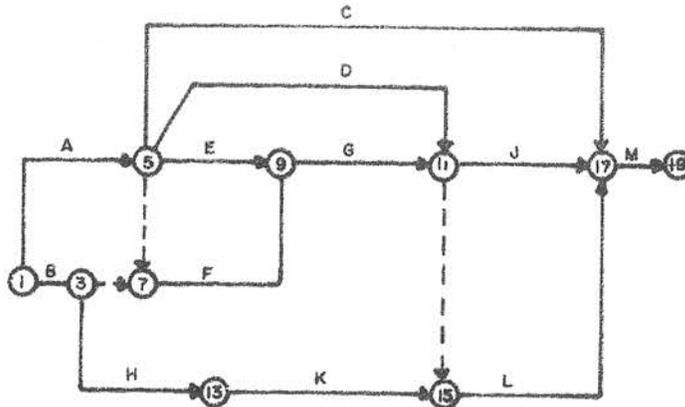


FIG. 7

En todas las soluciones que se puedan dar del ejemplo anterior, se presenta el mismo flujo de las actividades independiente de la forma en que queda la red o diagrama. Cuando una red, tal como la anterior, se ha desarrollado; es necesario analizarla con relación a la lógica de su presentación. Debe observarse, que se mantenga que el comienzo de cada actividad a partir de un evento cualquiera, depende sólo de la finalización de todas las actividades que forman dicho evento. Para revisar si la construcción de la red es correcta, se debe comenzar por el evento final del proyecto y devolverse hasta el principio, de evento en evento haciéndose las siguientes preguntas respecto a cada actividad.

- 1.- Cada actividad que comienza en un evento depende de todas las actividades que forman dicho evento?
- 2.- Todas las actividades, de las cuales depende la actividad que comienza, forman el evento que sirve de origen a dicha actividad?

Si las respuestas a ambas preguntas son afirmativas, y si todas las actividades se han tomado en cuenta, el diagrama o red es completo y representa la secuencia lógica de los trabajos necesarios para llevar a cabo un determinado proyecto.

DETALLE DE LAS ACTIVIDADES.

Las actividades deben ser definidas en un grado tal que permitan un óptimo control y supervisión de parte de los encargados en ejecutar la etapa del proyecto para la cual se ha hecho el correspondiente diagrama de actividades.

Puede ser necesario en algunos proyectos, desarrollar varios diagramas en donde se varían los grados de detalle para las diferentes actividades, dependiendo del nivel administrativo para el cual se ha desarrollado el diagrama. En un proyecto de construcción de una carretera, por ejemplo, una actividad que aparece en una forma resumida en el diagrama para uso de los niveles superiores de administración, deberá desagregarse en muchas otras, dependiendo del grado de detalle que se desee, para ser usado por el Ingeniero encargado en el diseño geométrico, por ejemplo. Esto quiere decir, que para el primer caso anterior, todo el trabajo a efectuar por la oficina de diseño geométrico aparecerá en su diagrama como una o dos actividades a lo sumo, ya que el detalle que se requiere sobre estos trabajos es menor en el primer caso, ya que en su diagrama se contemplan todas las etapas de que se compone el proyecto completo y en el segundo se incluye el detalle de las funciones específicas a desarrollar por la oficina de diseño geométrico únicamente.

ASIGNACION DE TIEMPOS Y PROGRAMACION.

Una vez terminado y revisado el diagrama, se convierte en un plan regulador que puede usarse como base para efectuar la programación de máquinas, materiales y mano de obra. En estas condiciones se procede a efectuar la asignación de tiempos para cada actividad. Para efectuar esta estimación, los tiempos que se obtengan deben basarse en la cantidad de equipo y recursos con que se cuente para llevar a cabo cada actividad.

El valor final que se obtenga del diagrama dependerá en gran parte de la exactitud de las estimaciones de tiempo, por consiguiente, éstas deberán hacerse con gran cuidado y utilizando las enseñanzas de la experiencia que en última instancia es la guía más segura.

Como anteriormente se indicó, los valores de tiempo se dan en función de horas, días o semanas, dependiendo del tipo del proyecto de que se trate. En todo caso, la unidad de tiempo que se use, debe mantenerse para todas las actividades que forman el diagrama. Esto es, que si la hora se escoge como unidad básica de tiempo, entonces todas las duraciones de las actividades deben ser dadas en horas.

El efecto de días feriados y vacaciones, no se toman en cuenta al efectuar estas estimaciones de tiempo, pero si para preparar el correspondiente programa de trabajo.

En proyectos de construcción, donde existen estándares para cada actividad o donde se cuenta con experiencia en esta clase de trabajos, se hace solamente una estimación de tiempo para cada actividad; pero en proyectos en donde no se cuenta con experiencia en la ejecución de sus respectivas actividades o en proyectos de investigación en don

de existe incertidumbre en la estimación del tiempo para cada actividad, se efectúan entonces tres estimaciones de tiempo, con las cuales se obtiene un tiempo medio para cada actividad. Se requieren estos tres valores de tiempo como un índice de incertidumbre en la realización de una actividad, reconociendo el factor probabilístico que existe en muchas tareas de determinados proyectos. Estas tres estimaciones son: tiempo optimista, tiempo más probable y tiempo pesimista.

1.- TIEMPO OPTIMISTA.

Es una determinación del menor plazo de tiempo en que puede realizarse una actividad.

2.- TIEMPO MAS PROBABLE.

Es la estimación más real del plazo de tiempo en que se realizará una actividad, representando una combinación normal de las ganancias y pérdidas que ocurrirán más a menudo si se pudiera repetir la actividad un gran número de veces en condiciones similares.

3.- TIEMPO PESIMISTA.

Es una estimación del plazo de tiempo máximo que puede tomar una actividad en condiciones que no se presenten más de una vez en cien. Debe reflejar la posibilidad de fallas iniciales pero no debe estar influenciado por factores de tipo catástrofe.

El hecho de fijar tres tiempos estimados y no uno, expresa la finalización de una actividad, más bien como probable que como certera.

Sean:

a - tiempo optimista m - tiempo más probable b-tiempo pesimista..

De acuerdo con una curva "B" (beta) indicadora de la frecuencia con que ocurre una actividad de determinados tiempos, si ésta se efectuara un gran número de veces; obtenemos el "te" tiempo esperado o tiempo medio el cual corresponde a la moda de la curva tal como se indica en la Figura 8. Además se calcula la varianza $\sqrt{^2}$, que representa una medida de la dispersión o tendencia de la curva.

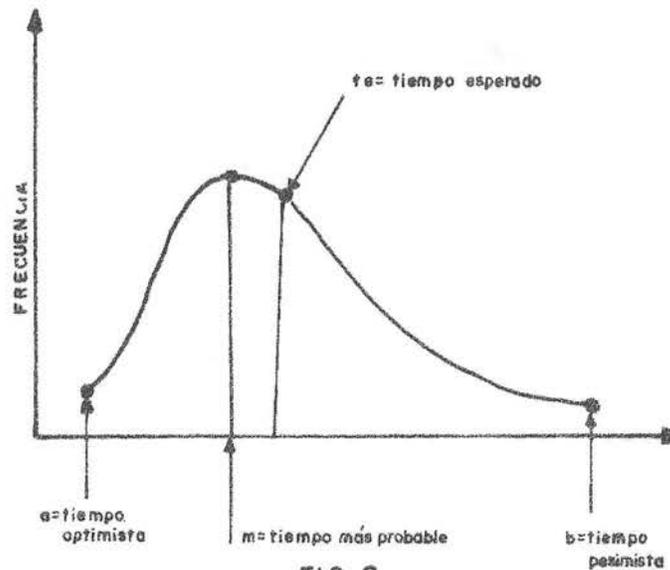


FIG. 8

FIGURA 8

Por lo tanto:

$$te = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$\sqrt{^2} = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

El tiempo esperado "te" representa un punto en el cual el área bajo la curva es dividida en dos partes iguales. La curva se asume que sólo tiene un pico, el punto "m" el cual es representativo del tiempo más probable. Existe, por lo tanto, muy baja probabilidad (alrededor de uno en cien) de que en los tiempos "a" y "b" se pueda llevar a cabo una actividad.

No existe ninguna asunción respecto a la posición del punto "m", con relación a los puntos "a" y "b", pudiendo tomar cualquier posición entre los extremos, dependiendo sólo del juicio del estimador.

Una variedad de las formas que esta distribución puede tomar se indican en la Figura 9.

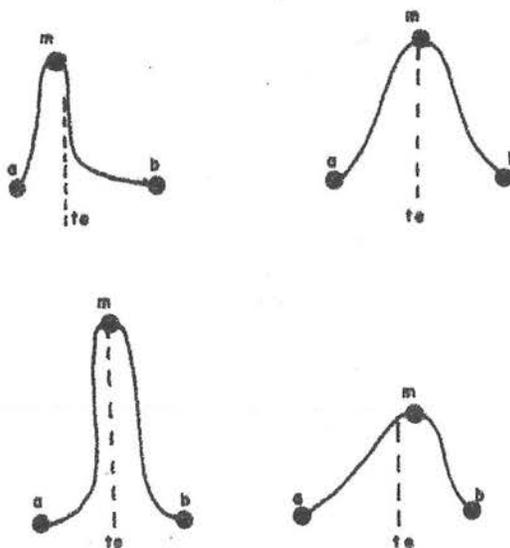


FIGURA 9

Como anteriormente se indicó, la varianza es un término indicativo de la incertidumbre asociada con el proceso. Si la varianza es grande -

(por ejemplo, cuando las estimaciones de los tiempos optimistas y pesimistas son muy distantes), habrá una gran incertidumbre acerca del tiempo en el cual la actividad se llevará a cabo. Por el contrario, si la varianza es pequeña, la incertidumbre será por lo tanto pequeña.

Una vez que las estimaciones de tiempo son hechas y se introducen dentro del diagrama, se obtiene lo que se llama el diagrama probabilístico o aleatorio.

CAPITULO II

CAPITULO II

ANALISIS DE TIEMPO

Cuando se han asignado los valores de tiempo a todas las actividades, se procede luego a buscar en el diagrama el camino más largo para llevar a cabo todo el proyecto.

Este camino representará, la trayectoria crítica de los trabajos; o sea, la que nos indica el menor tiempo total en que se pueden ejecutar, todas las actividades indicadas en el diagrama y de acuerdo a las estimaciones de tiempo que se hicieron para cada una de ellas. Para calcular la trayectoria crítica, es necesario definir los siguientes conceptos:

Plazo más breve de realización de un suceso (T_E) .:

Esto significa

que se debe hallar el período más breve, desde el origen de la realización de todas las actividades que termina en el nudo representativo del suceso.

Su cálculo es fácil de hacer por simple recurrencia, a partir del suceso inicial hasta llegar al suceso o evento final, en el entendido de que el tiempo más largo que se obtenga es el factor determinante T_E , que representa el tiempo más breve para que el evento sea completado.

Para aclarar lo anterior, consideremos el ejemplo de la Figura 10, en donde hallaremos el T_E del suceso 4, supuesto conocidos los T_E de los sucesos 1 y 2 cuyos nudos son orígenes de actividades que terminan en aquél.

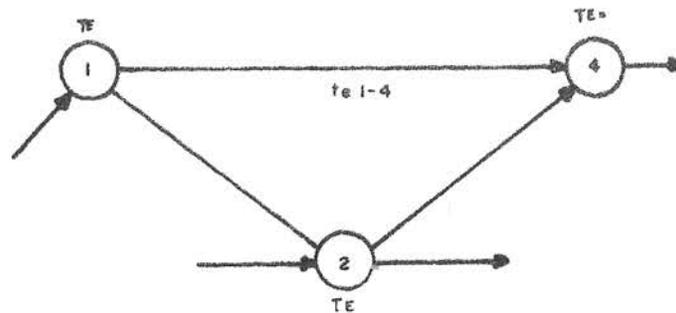


FIGURA 10

EL T_E del suceso 4 será el tiempo mayor que se obtenga de las dos sumas siguientes:

T_E del suceso 1 \neq Duración de la actividad 1-4 ($t_e 1 - 4$)

T_E del suceso 2 \neq Duración de la actividad 2-4 ($t_e 2 - 4$)

Según sea el número de actividades que formen el suceso que se esté analizando, así será la cantidad de sumas, que como las anteriores deben plantearse.

El T_E final -objetivo del programa- nos dá la duración total estimada del proyecto y representa el plazo mínimo en que se puede ejecutar.

Plazo más largo de realización de un suceso (T_E') .:

Llámesese así al tiempo máximo en que podemos realizar un suceso sin retrasar la duración del proyecto.

Para calcular los T_L , se comienza por el nudo o suceso final-objetivo- retrocediendo hasta alcanzar el suceso inicial, o sea lo inverso del procedimiento seguido para calcular los T_E .

Para aclarar lo anterior, analicemos el ejemplo de la Figura 11, en donde se calculará el T_L del suceso 3, supuestos conocidos los T_L de los sucesos 5 y 7, con los que el nudo 3 está conectado con flechas que parten de éste.

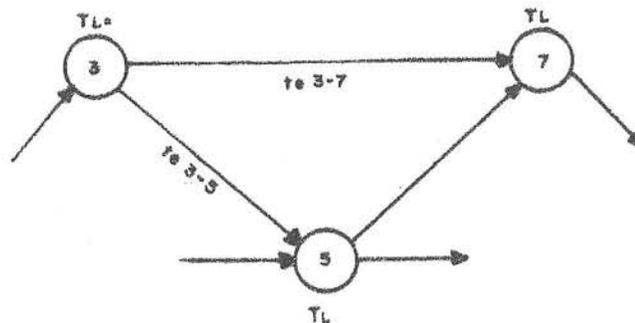


FIGURA 11

El T_L del suceso 3 será el tiempo menor que se obtenga de las dos restas siguientes:

T_L del suceso 5 - Duración de la actividad 3-5 ($t_e 3-5$)

T_L del suceso 7 - Duración de la actividad 3-7 ($t_e 3-7$)

El T_L del suceso final -objetivo - es igual al T_E de este suceso; pero bien podría ser un tiempo cualquiera fijado de antemano en el cual se espera finalizar el proyecto; en el caso, de que este tiempo sea menor que el T_E del total del proyecto, nos obliga a disponer de mayores recursos de dinero o equipo para acelerar la duración de una

o varias actividades.

Debe tenerse en cuenta que en virtud de la propia definición T_L de cada suceso, este tiempo representa la fecha más tardía en que podemos retrasar la terminación de todas las actividades que convergen en el nudo representativo de aquel suceso, sin que por ello se atrase la terminación del total del proyecto.

TRAYECTORIA CRITICA.

Para calcular el T_E final, se ha seguido por el camino más largo a través del diagrama y esto se conoce como la trayectoria crítica; todas las otras trayectorias del diagrama son más cortas en tiempo y serán sub-críticas.

Cualquier actividad que se atrase a lo largo de la trayectoria crítica, atrasará por consiguiente la finalización de todo el proyecto. Debe notarse que si la trayectoria crítica es acortada por cualquier razón, cualquier trayectoria subcrítica podrá ser igual a ella, convirtiéndose por lo tanto en crítica. Además, si una trayectoria subcrítica es retardada, podrá convertirse en la trayectoria crítica del proyecto. Es posible tener dos o más caminos críticos (y paralelos), pero generalmente se determina un camino más crítico que los demás, siendo éste el que requiere desde un comienzo hasta el final del proyecto del máximo tiempo posible.

HOLGURA.

La holgura de un suceso es igual a $T_L - T_E$. Por definición, la holgura de un suceso a lo largo de la trayectoria crítica es igual a cero. Por lo que se dice que la trayectoria crítica tiene una holgura de cero, y que todas las trayectorias subcríticas tienen sus valores indivi

duales de holgura como positivos.

Los valores de la holgura que se presenten en una serie de trayectorias es otra manera de expresar lo crítico de cada una de ellas en el diagrama.

Cuando de antemano se establece un tiempo para completar el proyecto el cual se denomina como T_S , hace que el tiempo máximo del diagrama sea fijado como T_S ; y entonces T_L será igual a T_S . Si el T_S es menor que el T_E calculado para la trayectoria crítica, tendremos entonces el caso de la holgura negativa, lo que indica que la trayectoria crítica sea mayor con respecto a T_S en la cantidad de $T_S - T_E$. Debe hacerse énfasis en que la holgura negativa puede existir solamente en el caso donde un tiempo programado T_S , sea establecido de antemano y que a la vez sea menor que el T_E . Un tiempo T_S puede ser establecido para otros sucesos además del suceso final-objetivo; en este caso tendremos la posibilidad de que se nos presenten más de una holgura negativas.

La holgura negativa es una característica que no puede ocurrir en un diagrama o malla y debe ser eliminada por todos los medios posibles, con el objeto de ajustar el tiempo programado con el tiempo que resulta del análisis de la malla para obtener la condición de que

$$T_S = T_L = T_E$$

Características de las Actividades:

Anteriormente se analizó las diferentes características que presentan los sucesos en el diagrama de actividades de un proyecto; ahora nos referiremos a determinados conceptos importantes que se presentan en el análisis de las actividades, los cuales se basan en lo anterior, pero presentan alguna diferencia en cuanto a su definición y significado.

Fecha más baja de inicio de una actividad. (T_{Ei})

Esta fecha corresponde al T_E del suceso, del cual parte la actividad considerada; y representa el tiempo mínimo, desde el comienzo del proyecto cuando dicha actividad puede iniciarse.

$$T_{Ei} \text{ (actividad)} = T_E \text{ (del suceso de que parte)}$$

Fecha más baja de término de una actividad. (T_{Ej})

Esta fecha será la que se obtiene a partir del T_{Ei} de la actividad respectiva al sumarle el t_e (tiempo esperado) de dicha actividad, y será el tiempo más bajo en que se puede completar la actividad, a partir de la fecha en que se comenzó el proyecto.

$$T_{Ej} = T_{Ei} + t_{ej}$$

Fecha más alta de inicio de una actividad. (T_{Li})

Esta fecha corresponde al T_L del suceso al cual llega dicha actividad menos el t_e de la actividad, y representa el tiempo más alto en que se puede comenzar la actividad, sin perturbar las fechas de las actividades que deben ejecutarse a continuación y por consiguiente la finalización del proyecto tampoco se afectará.

$$T_{Li} = T_L - t_{ej}$$

Fecha más alta de término de una actividad. (T_{Lj})

Esta fecha será el T_L que se obtiene para el suceso adonde la actividad considerada finaliza; siendo ésta la fecha máxima en que la actividad puede finalizarse sin perturbar las fechas de las actividades que deben ejecutarse a continuación, ni la finalización del proyecto.

$$T_{Lj} \text{ (actividad)} = T_L \text{ (del suceso al que llega)}$$

Todos los conceptos anteriores pueden visualizarse más fácilmente mediante la figura 12, en donde se muestran dos sucesos unidos mediante la actividad i j ; en los cuales se indican todas las características que presenta una actividad.

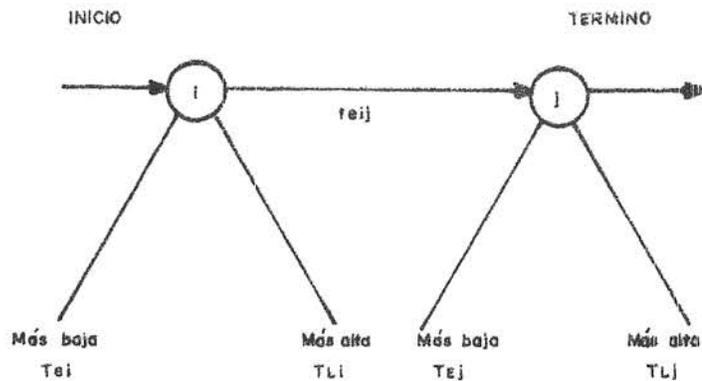


FIGURA 12

Holgura de una actividad

La holgura o margen es la cantidad de tiempo que se puede demorar una actividad sin que se afecten otras actividades en el diagrama o red. Este margen de tiempo le indica al administrador las áreas en que el potencial humano y/o máquinas y capital pueden ser desviados hacia otras áreas más críticas del proyecto. Para una misma actividad se presentan dos clases de holgura, que son: la holgura total y la holgura libre.

Holgura Total

Es la holgura o margen que posee una determinada actividad, que pue

de emplearse sin exceder la fecha de finalización del proyecto. Este valor es igual a la fecha más alta de término de una actividad (T_{Lj}) menos la fecha más baja de término de esa actividad (T_{Ej}).

Por lo tanto:

$$H_T (ij) = T_{Lj} - T_{Ej}$$

Las actividades a través de la ruta o camino crítico tiene un valor de holgura total igual a la cero.

Holgura Libre

Es la holgura o margen que posee una actividad, que puede emplearse sin perturbar la fecha mínima de comienzo de las actividades que deben realizarse a continuación. Este valor es igual a la fecha más baja de término de una actividad (T_{Ej}) menos la fecha más baja de inicio de esa actividad (T_{Ei}) menos el tiempo esperado de esa actividad (te_{ij}); o sea que:

$$H_L (ij) = T_{Ej} - T_{Ei} - te_{ij}$$

Al igual que en el caso anterior la holgura libre de las actividades que forman la ruta crítica, tiene un valor igual a cero.

La holgura juega un papel muy importante, particularmente en la programación, para efecto de decidir cuales áreas son más adecuadas para contar con holgura, ya sean éstas al principio o al final de la trayectoria, dependiendo en alto grado del juicio de los encargados de efectuar la programación.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos son empleados tanto en la programación de una obra como en el control del avance del programa.

Una vez obtenido el primer programa, que se traduce en un cierto

plazo total, es posible perfeccionarlo mediante una redistribución de recursos tendientes a disminuir los tiempos de las actividades críticas a costa de aquellas actividades que tienen holgura total. Con las modificaciones introducidas en los plazos y en la secuencia de faenas se puede obtener un programa óptimo que represente un mínimo de tiempo para su realización con los medios de trabajo disponibles.

Durante el avance de la obra se prestará especial atención a las actividades que se encuentren en caminos críticos. Cualquier atraso en estas actividades será motivo de medidas correctivas, a fin de que no perturben el cumplimiento del programa total.

Periódicamente se controlará el avance de la obra y se procesará nuevamente la malla a fin de determinar su influencia en el programa originalmente concebido.

A fin de facilitar la interpretación de los resultados de plazos y holguras y adicionalmente encuadrar las modificaciones o cambios introducidos dentro del volumen de trabajos realizables en paralelo, con los recursos disponibles es conveniente traducir los resultados a una carta o gráfico de Gantt.

CAPITULO III

CAPITULO III

ANALISIS DE COSTOS

Hasta ahora lo que hemos visto tiene relación únicamente con los tiempos, y nada se ha dicho acerca de los costos del proyecto. Seguidamente se procederá a analizar la metodología usada para efectuar una adecuada programación, cuando se introduce el concepto de costos en la ejecución de un determinado proyecto, basándose en la técnica de las trayectorias críticas.

RELACION ENTRE TIEMPO Y COSTOS DE LAS ACTIVIDADES

El análisis de costos no puede ser considerado independiente del análisis de tiempo, debido, a que se asume que el diagrama debe ser totalmente desarrollado antes de que la fase de costos pueda ser completada.

Una vez que el diagrama se ha completado, se efectúan estimaciones de tiempos y de costos, para cada una de sus actividades. Estas estimaciones de tiempo son basadas en el concepto de que todos los recursos disponibles pueden ser aplicados para completar cualquier actividad. Además, este tiempo así estimado, será el "tiempo normal" requerido para llevar a cabo una actividad. El tiempo normal debe ser convertido en valor, basado en determinado número de horas-hombre de trabajo, tantas horas de tiempo del equipo, tanta cantidad de material, etc. Este costo es conocido como el costo normal de la actividad.

Para determinar una programación óptima en términos de costos del proyecto, es necesario que un mínimo de tiempo también sea determinado para la finalización de una dada actividad. Este mínimo tiempo implica el uso de más mano de obra y/o equipo para completar la actividad en el tiempo más corto posible. Una vez alcanzado este punto, el empleo de una cantidad adicional de mano de obra y/o equipo, resultará solamente en un incremento en el costo, sin el correspondiente decrecimiento en el tiempo.

Esta aceleración de actividades resulta naturalmente con un costo mayor, que si se efectuaran en un tiempo normal.

Para aligerar la terminación de un proyecto, es necesario acelerar únicamente las actividades que se encuentran sobre el camino crítico o sea aquellas que son críticas. A menudo, cuando un proyecto se va atrasando en su finalización, la tendencia, por lo general, es de acelerar todas las actividades del proyecto con el objeto de acortar su finalización, pero con un gasto de recursos mucho mayor ya que existirán algunas actividades que por más que se activen, no contribuyen a acortar el tiempo de duración del proyecto.

Las relaciones de tiempo-costo de las actividades, se representan gráficamente como se indican en la Figura 13, en donde, el punto a la izquierda de la curva representa la condición del programa acelerado y el punto a la derecha de la curva representa la condición normal. Existen varios puntos entre estos dos extremos, que muestran que la relación no es lineal. En muchos casos, esta relación se asume que varía linealmente entre los puntos normal y acelerado. Esta relación lineal es recomendada especialmente para aque-

llos análisis de redes que son hechos manualmente,

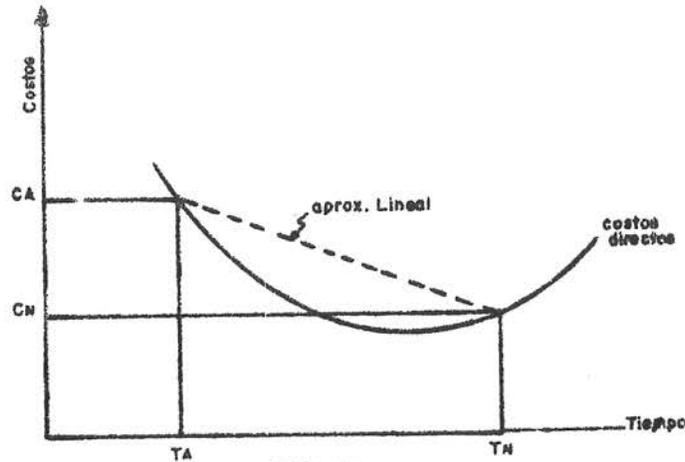


FIG. 13

Refiriéndonos de nuevo a la Figura 13, vemos que la pendiente representa el costo por día de una actividad y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Costo acelerado menos Costo Normal}}{\text{Tiempo normal menos Tiempo Acelerado}} = \frac{CA - CN}{TN - TA}$$

La importancia de esta pendiente se manifiesta cuando se trata de aligerar la finalización de un proyecto, debido a que las actividades que deben adelantarse primero, serán aquellas que resulten menos costosas y éstas son determinadas comparando las pendientes de la curva de tiempo-costos para cada actividad, con el objeto de escoger aquellas que presenten los valores más bajos.

Al aligerar una actividad, en la trayectoria crítica, se puede presentar que otra actividad concurrente con la anterior, tenga valores de holgura muy bajos que la convierten en crítica. Cuando esta si-

tuación se presente y si se quiere continuar aligerando el proyecto, será necesario activar ambas actividades o sea la que originalmente era crítica y la que resultó crítica al efectuarse la primera activación.

El método de análisis de costos presenta la característica, de que permite disminuir el costo total del programa, sin variar la fecha de término del mismo, mediante la disminución de las holguras libres de las actividades no críticas; suponiendo que el aumento de los costos es proporcional a la disminución de los tiempos operativos de las actividades.

La utilidad del método descrito anteriormente es inmensa, no obstante, presenta un problema el uso de esta técnica de tiempo-costo, debido a la dificultad de obtener buenos datos para trabajar con este modelo.

Para aclarar el uso de esta técnica, se presentan a continuación dos modelos que muestran la metodología a seguir cuando se quiere 1°) disminuir el costo total de un programa sin alterar la duración de su ejecución y 2,) acelerar un programa con el mínimo costo. Es decir, que vamos, ahora, a poner en evidencia dos aspectos interesantes de la optimización de un programa a partir de la información que dé el método del camino crítico.

Ejemplo No. 1:

Disminución del costo total de un programa sin alterar la duración de su ejecución.

No se tratará de buscar el óptimo del programa sino solamente demostrar cómo las informaciones que proporciona el método, permiten disminuir el costo total actuando sobre las actividades no críti-

cas.

Consideremos pues, para un conjunto de actividades, un programa cualquiera, en el que los tiempos esperados para llevar a cabo estas actividades se encuentran entre el tiempo del programa acelerado (t_a) y el tiempo del programa normal (t_n) de modo que en la Figura 14 que relaciona los tiempos y los costos se muestran estos tres-tiempos, o sea que

$$T_{Aij} - t_{eij} - t_{nij}$$

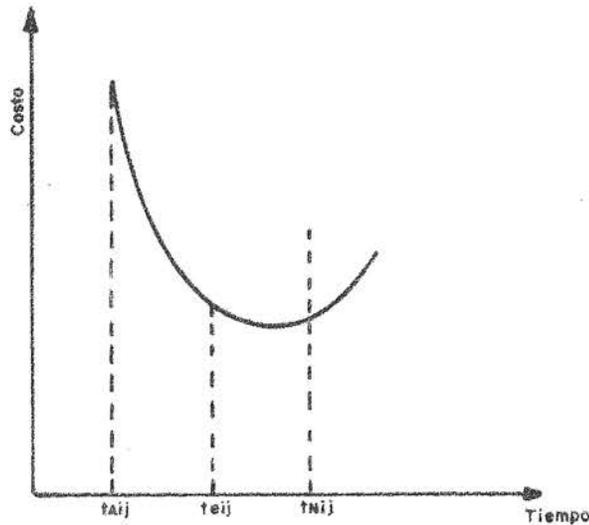


FIGURA 14

La determinación del camino crítico da la duración de la realización del programa. El costo total del programa así establecido es: la suma de los costos de todas las actividades.

Para disminuir el costo total del programa, manteniendo la misma

duración de ejecución, será preciso disminuir las holguras libres de las actividades no críticas dentro de los límites impuestos por el diagrama. En efecto, disminuir el margen libre de una actividad e equivale a aumentar su tiempo de operación, o sea, a disminuir el costo. Procediendo de este modo podrá ocurrir que se creen nuevos caminos críticos. Ello ocurrirá cuando se consiga anular las holguras libres de todas las actividades que forman el diagrama. Los tiempos esperados t_{eij} son ahora susceptibles de variar entre t_{nij} y t_{Aij} mediante un aumento del costo de cada tarea. Tomemos como ejemplo el diagrama de la Figura 15, en donde su camino crítico inicial es 1-3-4-8-11-10-12; las duraciones t_{Aij} y t_{Nij} están indicadas en la tabla 1. Supondremos que el aumento de los costos es proporcional a la disminución de los tiempos de operación. Esto equivale a suponer que las curvas del tipo de la Figura 14 se reducen para cada actividad a segmentos rectilíneos. Las pendientes de estas rectas o coeficientes de proporcionalidad C_{ij} vienen dados en la Tabla 1; son los costos marginales de cada operación. Se indican también los tiempos esperados t_{eij} correspondientes al programa no mejorado, las holguras libres y los costos de cada actividad.

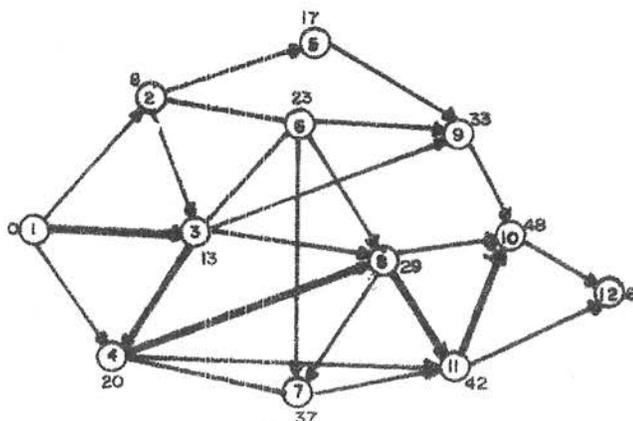


FIG. 15

Las cifras que aparecen al lado de cada evento, representan los tiempos mínimos de realización de cada uno de ellos.

TABLA N° 1

Actividad	t_{Aij}	T_{Nij}	t_{ej}	Holgura Libre	Costo	C_{ij}
1 - 2	7	10	8	0	6.000	100
1 - 3	12	15	13	0	20.000	1.200
1 - 4	7	10	9	11	2.000	200
2 - 3	3	6	4	1	8.000	300
2 - 5	8	13	9	0	1.000	600
2 - 6	5	7	6	9	4.000	150
3 - 4	7	9	7	0	3.000	200
3 - 6	9	12	10	0	2.000	100
3 - 8	5	8	6	10	4.000	200
3 - 9	9	10	9	11	25.000	150
4 - 7	8	11	10	7	8.000	250
4 - 8	7	12	9	0	3.000	600
4 - 11	6	8	6	16	4.000	150
5 - 9	3	4	3	13	10.000	450
6 - 7	4	7	5	9	2.000	150
6 - 8	2	7	3	3	3.000	300
6 - 9	7	8	8	2	12.000	800
7 - 11	3	6	4	1	3.000	150
8 - 7	6	9	8	0	10.000	200
8 - 9	4	5	4	0	8.000	400
8 - 10	4	6	5	14	2.000	300
8 - 11	11	15	13	0	7.000	1.000
9 - 10	4	6	5	10	3.000	400
10 - 12	10	14	13	0	6.000	900
11 - 10	5	8	6	0	2.000	300
11 - 12	15	18	17	2	2.000	500

La duración de realización de este proyecto es de 61 semanas y su costo total, obtenido sumando los costos de las diferentes actividades y que aparecen en la 6a. columna de la Tabla N° 1 es de 160.000 u.m.

La mejora inmediata que se impone a simple vista es aumentar los

tiempos esperados de las actividades no críticas, y ello, teniendo en cuenta para cada actividad el valor t_{Nij} y la holgura libre correspondiente.

Así, no se puede alargar el tiempo esperado de la actividad 1-2, por ser 0 su margen libre. Lo mismo para la 1 - 3. Por el contrario, siendo 11 el margen libre de 1 - 4, se puede alargar su duración que pasará a ser de 10 semanas. Teniendo las 2 - 3 una holgura libre de 1 semana, y siendo $t_{N2-3} = 6$, su duración puede ser alargada y será por lo tanto de 5 semanas como máximo. La 2 - 5 tiene una holgura libre de 0 y no puede ser alargada. La 2-6, teniendo una holgura libre igual a 9 y siendo t_{N2-6} igual a 7, su duración podrá ser alargada y pasará a ser de 7 semanas, etc.

Los nuevos tiempos de las actividades no críticas serán:

$$\begin{array}{l} t_{1-2} = 8 \quad t_{2-6} = \underline{7} \quad t_{4-7} = \underline{11} \quad t_{6-8} = \underline{6} \quad t_{8-10} = \underline{6} \\ t_{1-3} = 13 \quad t_{3-4} = 7 \quad t_{4-8} = 9 \quad t_{6-9} = 8 \quad t_{8-11} = 13 \\ t_{1-4} = \underline{10} \quad t_{3-6} = 10 \quad t_{4-11} = \underline{8} \quad t_{7-11} = \underline{5} \quad t_{9-10} = \underline{6} \\ t_{2-3} = 5 \quad t_{3-8} = \underline{8} \quad t_{5-9} = \underline{4} \quad t_{8-7} = 8 \quad t_{10-12} = 13 \\ t_{2-5} = 9 \quad t_{3-9} = \underline{10} \quad t_{6-7} = \underline{7} \quad t_{8-9} = 4 \quad t_{11-10} = 6 \\ t_{11-12} = \underline{18} \end{array}$$

Los nuevos tiempos han sido subrayados.

El diagrama del nuevo programa será el de la Figura 16. Algunos márgenes libres han sido anulados y han aparecido nuevos caminos críticos.

Los caminos críticos son:

Actividad:	1 - 4	=	200	
	2 - 3	=	300	
	2 - 6	=	150	
	3 - 8	=	400	= 200 x 2
	3 - 9	=	150	
	4 - 7	=	250	
	4 - 11	=	300	= 150 x 2
	5 - 9	=	400	
	6 - 7	=	300	= 150 x 2
	6 - 8	=	900	= 300 x 3
	7 - 11	=	150	
	8 - 10	=	300	
	9 - 10	=	400	
	11 - 12	=	500	

El ahorro total es la suma de las economías realizadas en cada actividad, o sea 4700 u.m; y el costo total del nuevo programa de la Figura 16 es:

$$160.000 - 4.700 = 155.300 \text{ u.m.}$$

No se debe pensar que se ha alcanzado el óptimo para una duración de realización de 61 semanas. Lo que se ha querido demostrar es cómo las informaciones que da el método del camino crítico permiten mejorar un programa alargando, siempre que ello sea posible, las actividades no críticas.

Ejemplo N° 2

Aceleración de un programa con el mínimo costo.

Para disminuir la duración total de un programa es preciso disminuir

la duración de una actividad crítica. La duración de ejecución total quedará reducida otro tanto. Si elegimos la actividad crítica que, para una misma disminución de tiempo, provoca el mínimo aumento de costo, habremos acelerado el programa con el mínimo gasto. Supongamos que el programa inicial (normal), del ejemplo que vamos a analizar, tiene un gasto total de 350 u.m. repartidos como se indica en la Tabla 2.

El Diagrama de este programa es el que se indica en la Figura 17.-

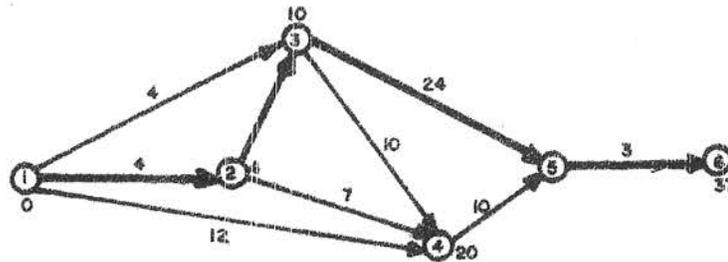


FIGURA 17

Además, se indican las duraciones y los costos correspondientes al programa acelerado, en el que la duración de todas las actividades se han reducido al mínimo compatible con los imperativos técnicos.

TABLA N° 2

ACTI VIDAD	<u>PROGRAMA NORMAL</u>		<u>PROGRAMA ACELERADO</u>		Costo de la Aceleración por mes
	Duración Probable (meses)	Costo Probable (u.m.)	Duración Probable (meses)	Costo Probable (u.m.)	
1-2	4	5	2	15	5
2-3	6	11	5	30	19
1-3	4	3	2	11	4
1-4	12	150	9	180	10
3-4	10	10	8	20	5
3-5	24	147	19	212	13
2-4	7	18	6	30	12
4-5	10	4	7	25	7
5-6	3	2	2	5	3
TOTAL		350	TOTAL	528	

Si pretendemos reducir en 9 meses la duración total de ejecución, es preciso reducir en primer lugar la duración de las actividades críticas, es decir las actividades 1-2, 2-3, 3-5, 5-6.

La reducción de 1 mes de la actividad 5-6 es la que costará más ba rata (3 u.m.); puesto que la reducción de 1 mes de las otras activida des críticas 1-2, 2-3, y 3-5 cuestan 5, 13 y 19 u.m., respectiva- mente. Así pues, la actividad 5-6 será la que se reduzca, con lo que el diagrama del programa activado se transforma como se indi- ca en la Figura 18. No es necesario acelerar las tareas no críticas;

se gastaría dinero sin obtener ningún beneficio.

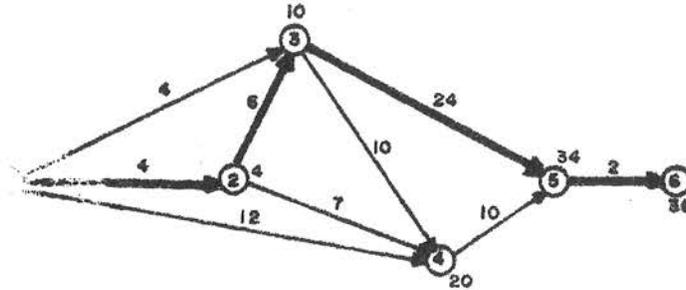


FIGURA 18

Si tratamos de ganar otro mes, la reducción la haremos en la actividad 1-4, la que nos dará el menor costo, porque como se ve en la Tabla 2, no se puede continuar reduciendo la actividad 5-6.

Si queremos continuar acelerando el programa, seguiremos con la actividad 1-4, luego la actividad 3-5 como puede verse en la Tabla 3. La reducción de la actividad 3-5 de 21 a 20 meses hará aparecer dos nuevas actividades críticas, a saber la 3-4 y la 4-5; lo cual se muestra en la Figura 19.

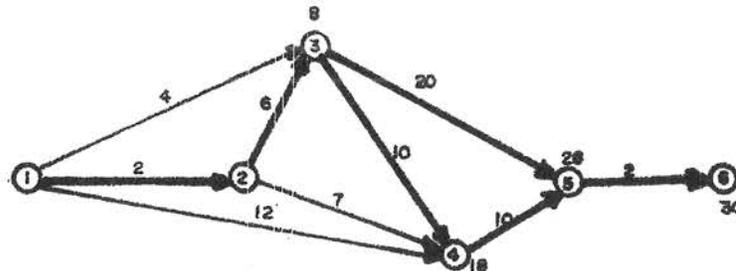


FIGURA 19

Finalmente, si se quiere ganar 1 mes más, o sea, reducir la duración total de 30 a 29 meses, podemos conseguirlo por uno de los siguientes procedimientos:

Ganar (1 mes en 3-5: costo	13
(1 mes en 3-4: costo	5
Total	18
Ganar (1 mes en 2-3: costo	19
Total	19

Como se ve es ventajoso ganar tiempo en las actividades 3-4 y 3-5. En resumen, la elección podrá hacerse recaer en uno de los programas que se indican en la Tabla 3.

TABLA N° 3

Duración del Programa	Costo (u. m.)	DURACION DE LAS OPERACIONES (MESES)									
		1-2	2-3	1-3	1-4	3-4	3-5	2-4	4-5	5-6	
37 meses	350	4	6	4	12	10	24	7	10	3	
36 meses	353	4	6	4	12	10	14	7	10	2	
35 meses	358	3	6	4	12	10	24	7	10	2	
34 meses	363	2	6	4	12	10	24	7	10	2	
33 meses	376	2	6	4	12	10	23	7	10	2	
32 meses	389	2	6	4	12	10	22	7	10	2	
31 meses	402	2	6	4	12	10	21	7	10	2	
30 meses	415	2	6	4	12	10	20	7	10	2	
29 meses	433	2	6	4	12	9	19	7	10	2	
28 meses	452	2	5	4	12	9	19	7	10	2	

CAPITULO IV

CAPITULO IV

ANALISIS DE TIEMPOS PARA UN PROYECTO DE CARRETERAS

Con el objeto de mostrar el funcionamiento del método de programación de trayectorias críticas se ha escogido con tal fin, el proyecto de carretera Pavones - Siquirres, al cual se le efectuará en las páginas siguientes un análisis de tiempos para todos y cada una de las actividades en que se ha dividido el proyecto.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto consta de $35 \frac{1}{2}$ Kms de longitud, de los cuales, 22 ya se han trabajado faltándole únicamente una capa de material selecto, hay luego $7 \frac{1}{2}$ Kms de terreno montañoso en donde la limpieza y desbosque es grande, así como el movimiento de tierras y finalmente existen 6 Kms de terreno ondulado en donde el trabajo de limpieza y desbosque y el movimiento de tierras es poco.

En la Figura 20 se muestra en una forma esquemática las tres partes en que se ha dividido el proyecto, según sus características de construcción.

Este proyecto es una reconstrucción de una vía existente que presenta un alineamiento vertical y horizontal sumamente inadecuado.

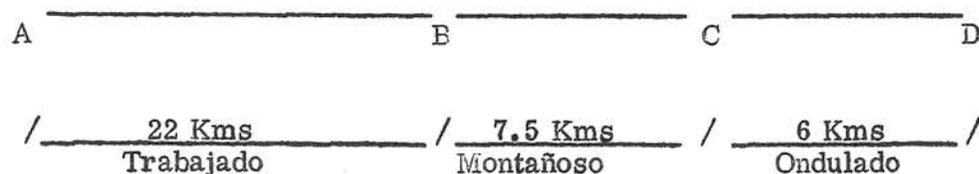


FIGURA 20

Este proyecto se hará por administración por parte del Ministerio de Transportes, por lo tanto se ha programado de acuerdo a la cantidad de equipo necesario para efectuar el trabajo en el tiempo requerido.

Como característica principal de este proyecto está la producción de material selecto de subbase que deberá ser extraída gran parte de las márgenes del río Reventazón y Siquirres y luego instalar un quebrador cerca de Pavones para completar la producción total y distribuir mejor las distancias de acarreo.

La sección A B de la Figura 20 ya fue trabajada completándose todo lo referente a movimiento de tierras, alcantarillas, limpieza y el revestimiento de los caños laterales en parte, lo mismo que la superficie de rodamiento a la cual se le colocó únicamente una capa de material selecto faltándole por consiguiente la segunda capa para proceder luego a hacerle una imprimación. Es necesario darle un buen mantenimiento mientras se le coloca la segunda capa de material que será de 26300 m^3 compactados.

Este mantenimiento deberá hacerse con un Gradoll y dos vagonetas. La sección B C es una sección montañosa con grandes trabajos de limpieza y desbosque, movimiento de tierras siendo necesario hacer varios desvíos con el fin de mejorar su alineamiento. En este tramo será necesario construir 16 alcantarillas, y colocar 18300 m^3 de material selecto de mantenimiento y 10000 m^3 de la primera capa.

La sección C D, requiere una adaptación de su sección transversal a mejores estandares pero la magnitud de sus trabajos con respecto a la sección anterior B C es menor, ya que existen algunas es-

estructuras de drenaje y además presenta un alineamiento que está más de acuerdo a las normas de construcción establecidas para el proyecto. Además su subrasante ha sido mejorada con una capa gruesa de grava. Hay que construir 7 alcantarillas y colocar 11700 m³ de material de recubrimiento.

Las cantidades totales del proyecto son las siguientes:

Longitud total	35,5 Kms
Movimiento de tierra	48.000 m ³
Limpieza y desbosque	32 Ha.
Material selecto	67.000. m ³
Alcantarillas	203 m.
Caños revestidos	14.700 m ³
Cercas	12.400 m.
Imprimación	30.000 galones

Lista de Actividades:

El proyecto se dividió en pocas actividades con el objeto de no hacer demasiado extensa la red y a la vez facilitar su cálculo; escogiéndose para ello las actividades más representativas del proyecto.

- 1 Instalación o traslado
- 2 Movimiento de tierras y conformación
- 3 Limpieza y desbosque
- 4 Alcantarillas
- 5 Producción de material selecto
- 6 Riego de material selecto
- 7 Caños revestidos

- 8 Imprimación
- 9 Cercas
- 10 Limpieza final. .

Seguidamente se hará una breve explicación de los trabajos requeridos en cada una de las anteriores actividades:

Instalación o traslado

Se contempla aquí el trabajo necesario para instalar campamentos y efectuar el traslado del equipo de construcción necesario para efectuar las futuras actividades.

Movimiento de tierras y conformación

Se trata del trabajo de excavación y acarreo de tierra junto la obtención de la sección transversal que se pide en los planos. Esta actividad se ha dividido en dos con el objeto de que se puedan terminar las alcantarillas y luego finalizar las tareas que se agrupan en esta actividad.

Limpieza y desbosque

Se trata del trabajo necesario para efectuar la limpieza de las zonas de excavación o de las adyacentes a la carretera que constituirán el futuro derecho de vía.

Alcantarillas

Son los trabajos necesarios que deben efectuarse para proveer a la nueva vía de un drenaje adecuado. Estas serán de cuadro o de tubo según sea su localización en el terreno y de acuerdo al volumen de agua a desalojar.

Producción de material selecto

Se contempla en esta actividad los trabajos requeridos para proveer el material de la superficie de rodamiento, que se extraerá de las márgenes del río Reventazón y Siquirres y de un tajo localizado cerca de Pavones. Además se contempla la producción de la piedra en laja para recubrir los caños de desagüe.

Esta actividad se ha dividido en dos para permitir comenzar con su colocación antes de que se halla producido todo lo que se requiere; o sea que se trabajará en paralelo con la colocación de este material.

Riego de Material Selecto

Se trata aquí de los trabajos necesarios para la colocación de este material. Se ha dividido en dos esta actividad para poder trabajar simultáneamente con los trabajos de producción y con la finalización de la excavación ya que se comenzará por el tramo C D, luego el tramo B C y finalmente A B que se requiere solamente una capa.

Caños Revestidos

Son aquellos trabajos requeridos pa

ra efectuar el revestimiento de los caños laterales de desagüe.

Imprimación

Se contempla en esta actividad el riego de una capa superficial de asfalto en el tramo A B únicamente.

Cercas

Consiste en la colocación de las cercas laterales que delimitan el derecho de vía.

Limpieza final

Esta actividad consiste en el retiro del equipo y el desmantelamiento de campamento, quebradores y cualquier otro tipo de obras temporales que se requieren para la realización del proyecto.

CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA

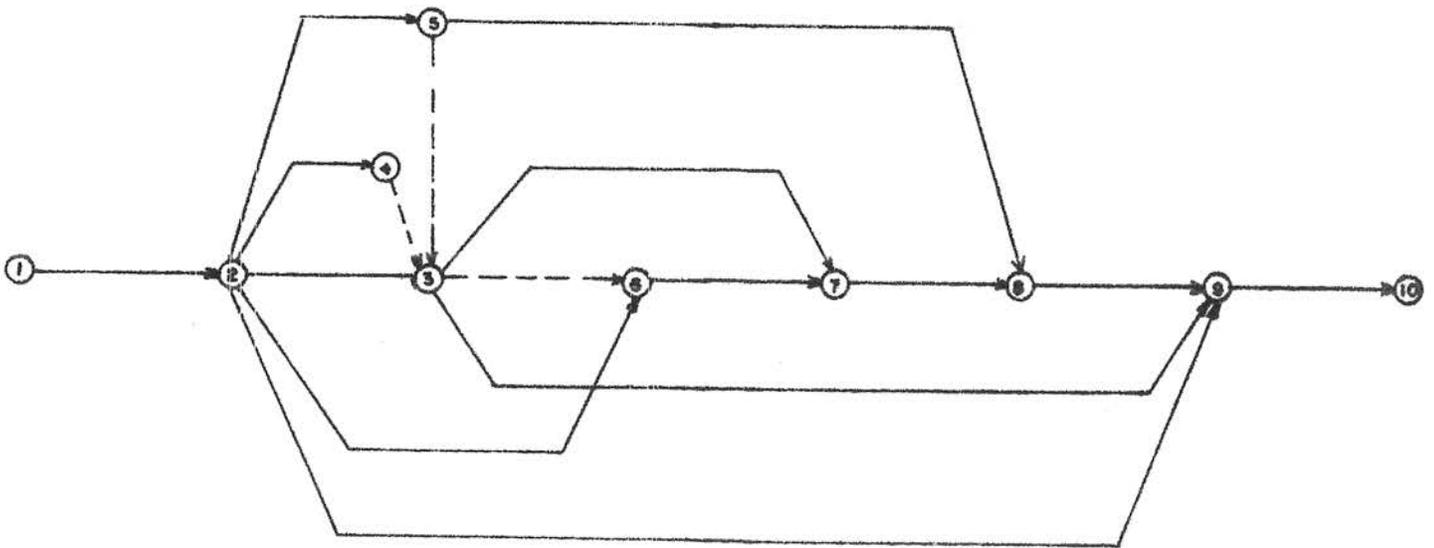


FIGURA 21

Después de haber desarrollado varios diagramas, se escogió el que se muestra en la Figura 21, ya que era más representativo de la forma en que se va a desarrollar el proyecto y además se ajusta en una forma muy adecuada a la disponibilidad del equipo que se va a emplear. Al diagrama mostrando la secuencia de las actividades se le conoce con el nombre de diagrama topológico.

Denominándose las actividades a partir del suceso del que parten al que llegan o sea en la siguiente forma:

- 1 - 2 Instalación o traslado
- 2 - 3 Comienzo del movimiento de tierras y de la conformación
- 2 - 4 Limpieza y desbosque
- 2 - 5 Comienzo de la extracción del material se lecto
- 2 - 6 Construcción de las alcantarillas
- 2 - 9 Construcción de cercas
- 3 - 6 Actividad ficticia
- 3 - 7 Comienzo del riego de material selecto
- 3 - 9 Construcción de los caños revestidos
- 4 - 3 Actividad ficticia
- 5 - 3 Actividad ficticia
- 5 - 8 Finalización de la extracción del mate - rial selecto.
- 6 - 7 Finalización del movimiento de tierras y de la conformación
- 7 - 8 Finalización del riego de material selecto
- 8 - 9 Imprimación
- 9 - 10 Limpieza final.

Es necesario recordar que a cada diagrama que se establezca, le correspondará una organización diferente para efectuar el trabajo.

ESTIMACIONES DE TIEMPO

La duración de las diferentes actividades se obtuvieron con base en la cantidad de equipo y mano de obra asignados al proyecto y son los siguientes:

1 Tractor HD 7	1 Aplanadora de 3 ruedas
1 Tractor HD 6	2 Compactadores neumáticos
3 Tractores D 4	14 Vagonetas
1 Tractor de llantas	1 Quebrador de piedra
1 Gridroller	2 Batidoras: de 1 saco y de $\frac{1}{2}$ saco
1 Gradall	1 Compresor
1 Pala mecánica	1 Tanque 1000 galones de agua
2 Cargadores	1 Vibrador
2 Niveladoras	1 Bomba de 4" \varnothing
1 Compactador de llantas	2 Cuadrillas para alcantarillas
1 Aplanadora	35 Trabajadores misceláneos

Se escogió como unidad de tiempo la semana, y se hizo sólo una estimación de tiempo para cada una de las diferentes actividades.

Los tiempos esperados para cada una de las actividades son los siguientes:

<u>Actividades</u>	<u>Tiempo esperado (t_e)</u> (semanas)
1-2	2
2-3	16
2-4	8

<u>Actividades</u>	<u>Tiempo esperado (te)</u> (semanas)
2-5	20
2-6	22
2-9	8
3-6	0
3-7	16
3-9	34
4-3	0
5-3	0
5-8	24
6-7	4
7-8	10
8-9	6
9-10	4

En la Figura N° 22 se muestra el diagrama desarrollado para nuestro proyecto, al cual se le han incluido las estimaciones de tiempo hechas para cada actividad y se le conoce como diagrama estocástico.

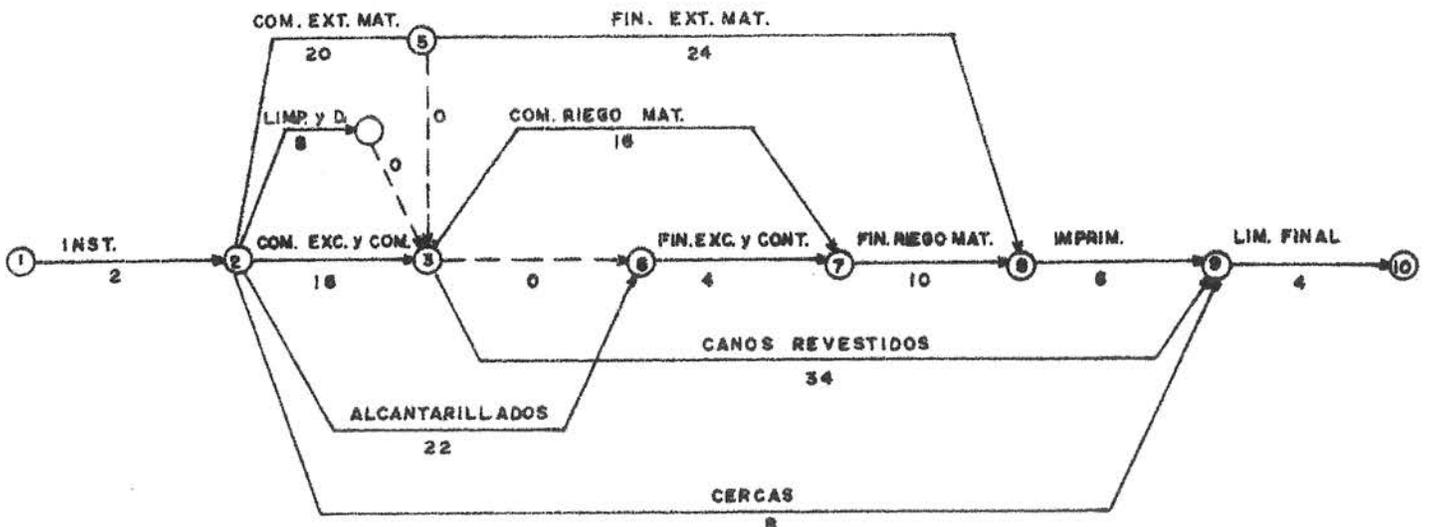


FIGURA 22

CALCULOS EN EL DIAGRAMA

El cálculo de los T_E y T_L de los distintos eventos que componen el diagrama, se pueden hacer siguiendo la orientación de las flechas como se indica a continuación:

El T_E del evento 1 es 0

El T_E del evento 2 es 2

Para calcular el T_E del evento 3 debemos calcular primero el de los eventos 4 y 5.

T_E del evento 4 es igual al T_E del evento 2 más el te_{2-4} sea que:

$$T_{E4} = T_{E2} + te_{2-4}$$

$$T_{E4} = 2 + 8$$

$$T_{E4} = 10$$

en la misma forma calculamos el T_E del evento 5

$$T_{E5} = T_{E2} + te_{2-5}$$

$$T_{E5} = 2 + 20$$

$$T_{E5} = 22$$

Ahora si podemos proceder a calcular el T_E del evento 3, en la siguiente forma:

$$T_{E3} = T_{E2} + te_{2-3} = 2 + 16 = 18$$

$$T_{E3} = T_{E4} + te_{4-3} = 10 + 0 = 10$$

$$T_{E3} = T_{E5} + te_{5-3} = 22 + 0 = 22$$

Por lo tanto el T_{E3} será la suma más alta de las anteriores, o sea la última que se obtiene a partir del T_{E5} , de donde:

$$\underline{T_{E3} = 22}$$

En la misma forma se procede con los restantes eventos para los cuales se tiene:

$$T_{E6} = T_{E2} + te_{2-6} = 2 + 22 = 24$$

$$T_{E6} = T_{E3} + te_{3-6} = 22 + 0 = 22$$

$$\underline{T_{E6} = 24}$$

$$T_{E7} = T_{E3} + te_{3-7} = 22 + 16 = 38$$

$$T_{E7} = T_{E6} + te_{6-7} = 24 + 4 = 28$$

$$\underline{T_{E7} = 38}$$

$$T_{E8} = T_{E5} + te_{5-8} = 22 + 24 = 46$$

$$T_{E8} = T_{E7} + te_{7-8} = 38 + 10 = 48$$

$$\underline{T_{E8} = 48}$$

$$T_{E9} = T_{E2} + te_{2-9} = 2 + 8 = 10$$

$$T_{E9} = T_{E3} + te_{3-9} = 22 + 34 = 56$$

$$T_{E9} = T_{E8} + te_{8-9} = 48 + 6 = 54$$

$$\underline{T_{E9} = 56}$$

Y finalmente

$$T_{E10} = T_{E9} + te_{9-10}$$

$$T_{E10} = 56 + 4$$

$$\underline{T_{E10} = 60}$$

Lo que nos indica que el tiempo más breve para ejecutar el proyecto es de 60 semanas.

Siguiendo el mismo procedimiento anterior pero en el sentido contrario o sea del evento final hacia atrás hasta llegar al inicial, podemos calcular el tiempo más largo de realización de cada uno de los eventos, o lo que se indica como T_L .

Por lo tanto para el evento 10 se tiene que

$$T_{L10} = T_{E10} = 60$$

Para el evento 9 se tiene:

$$T_{L9} = T_{L10} - te_{9-10}$$

$$T_{L9} = 60 - 4$$

$$T_{L9} = 56$$

o sea que para este evento representa la condición de que:

$$T_{L9} = T_{E9}$$

Para el evento 8:

$$T_{L8} = T_{L9} - te_{8-9}$$

$$T_{L8} = 56 - 6$$

$$T_{L8} = 50$$

Para el evento 7:

$$T_{L7} = T_{L8} - te_{7-8}$$

$$T_{L7} = 50 - 10$$

$$T_{L7} = 40$$

Para el evento 6:

$$T_{L6} = T_{L7} - te_{6-7}$$

$$T_{L6} = 40 - 4$$

$$T_{L6} = 36$$

Para calcular los eventos 5 y 4, debemos analizar primero el evento 3; por lo tanto:

$$T_{L3} = T_{L9} - te_{3-9} = 56-34 = 22$$

$$T_{L3} = T_{L7} - te_{3-7} = 40-16 = 24$$

$$T_{L3} = T_{L6} - te_{3-6} = 36-0 = 36$$

Se tiene entonces que el T_{L3} será el que corresponde al menos resultado obtenido de las ecuaciones anteriores; o sea que:

$$T_{L3} = 22$$

Ahora si se pueden calcular los eventos 5 y 4.

Para el evento 5 se tiene:

$$T_{L5} = T_{L8} - te_{5-8} = 50-24 = 26$$

$$T_{L5} = T_{L3} - te_{3-5} = 22-0 = 22$$

$$T_{L5} = 22$$

En esta forma se procede con los siguientes eventos

$$T_{L4} = T_{L3} - te_{3-4}$$

$$T_{L4} = 22 - 0$$

$$T_{L4} = 22$$

$$T_{L2} = T_{L9} - te_{2-9} = 56 - 8 = 48$$

$$T_{L2} = T_{L6} - te_{2-6} = 36 - 22 = 14$$

$$T_{L2} = T_{L5} - te_{2-5} = 22 - 20 = 2$$

$$T_{L2} = T_{L4} - te_{2-4} = 22 - 8 = 14$$

$$T_{L2} = T_{L3} - te_{2-3} = 22 - 16 = 6$$

$$\text{el } T_{L2} = 2$$

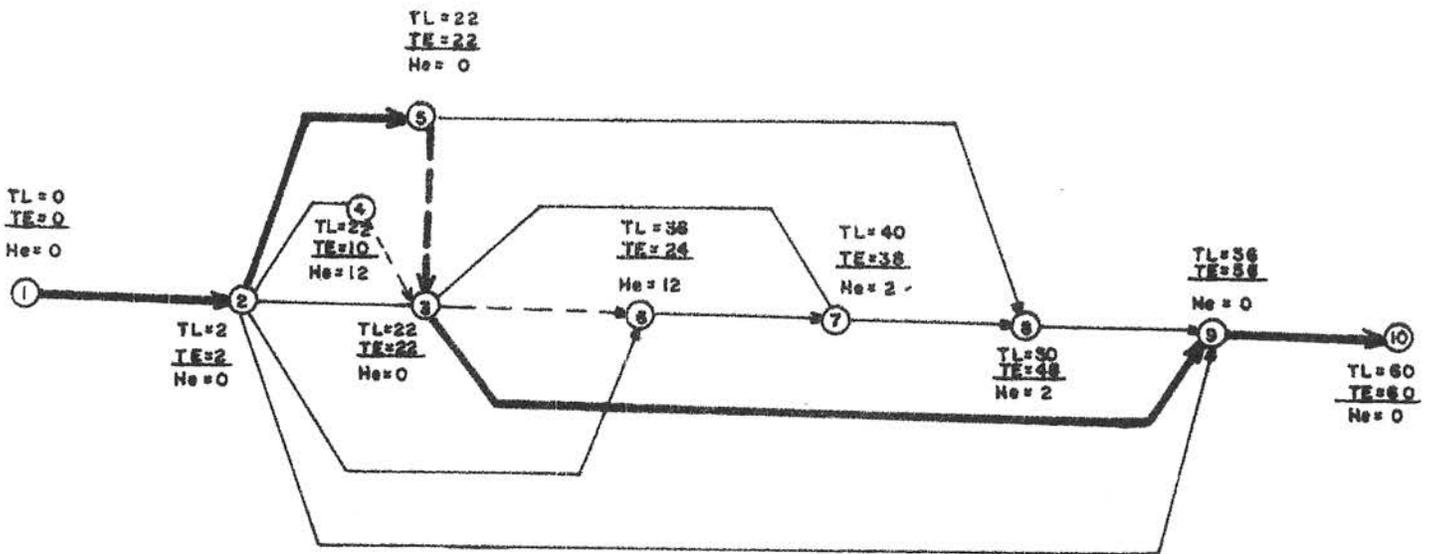
Finalmente para:

$$T_{L1} = T_{L2} - te_{1-2}$$

$$T_{L1} = 2 - 2$$

$$T_{L1} = 0$$

Una vez que se han calculado los T_E y T_L para cada uno de los eventos, se puede calcular la holgura que les corresponde a cada uno de ellos, mediante la diferencia entre los T_L y los T_E ; diferencias éstas que se muestran en la Figura No. 23, a la par de cada uno de los correspondientes eventos.



FIGURA

Como puede observarse de la Figura 23 los eventos críticos en el diagrama presentan una holgura igual a cero; por lo tanto el camino crítico del programa analizado es 1 - 2 - 5 - 3 - 9 - 10.

Se deduce de lo anterior que el tiempo mínimo para llevar a cabo dicho proyecto es de 60 semanas, de acuerdo con las estimaciones de

tiempo hechas para cada actividad y según el programa anterior de trabajo.

Existe un procedimiento de análisis de la red, el cual nos permite resumir todos los cálculos tanto de los eventos como de la actividades en un sólo cuadro como el que se muestra en la página 55. -

La forma de trabajo que debe seguirse considera esencial el orden en que deben presentarse las actividades en el cuadro, orden que es prácticamente único y que se obtiene mediante el procedimiento que a continuación se indica.

Se comienza por anotar en primer lugar el suceso final objetivo del programa como primer número de la columna I. De acuerdo con el diagrama la flecha que termina en 10 parte del evento 9 el cual se anota en el primer lugar de la columna II.

Debajo de la columna I se anota el 9 de la columna II que representa un evento con una sola flecha de salida; correspondiéndose con el 9 se anotan entonces en la columna II los números 8, 3 y 2; por lo tanto se tienen anotados en el cuadro las actividades 2-9, 3-9 y 8-9. La operación de haber acabado con el evento 9 se expresa con un signo cualquiera, por ejemplo 9 seguidamente se coloca debajo del 9 de la columna I el número 8 que representa un evento con una sola flecha de salida, y correspondiéndose con él en la columna II los números 7 y 5 que son eventos de origen de las flechas que terminan en él.

Descendiendo por la columna II encontramos el número 3; se consulta el diagrama y se observa en él si parten del evento 3 más de una actividad o por el contrario una sola; en este último caso se anotarían en la columna I, después de la última cifra ahí anotada, el nú

ACTIVIDADES			EVENTOS			ACTIVIDADES						Control de Salidas
Evento Final	Evento Inicial	t_e (semanas)	T_E	T_L	H_e	Fecha más baja		Fecha más alta		Holgura		
						Inicio T_{E_i}	Término T_{E_j}	Inicio T_{L_i}	Término T_{L_j}	Total $H_t(i_j)$	Libre $H_L(i_j)$	
10	9	4	60	60	0	56	60	56	60	0	0	
9	8	6	54	56	0	48	54	50	56	2	2	
	3	34	56			22	56	22	56	0	0	3 (3s) ⁱ
	2	8	10			2	10	48	56	46	46	2 (5s) ⁱ
8	7	10	48	50	2	38	48	40	50	2	0	
	5	24	46			22	46	26	50	4	2	5 (2s) ⁱ
7	6	4	28	40	2	24	28	36	40	12	10	
	3	16	38			22	38	24	40	2	0	3 (3s) ⁱⁱ
6	3	0	22	36	12	22	22	36	36	14	2	3 (3s) ⁱⁱⁱ
	2	22	24			2	24	14	36	12	0	2 (5s) ⁱⁱⁱ
3	5	0	22	22	0	22	22	22	22	0	0	5 (2s) ⁱⁱⁱ
	4	0	10			10	10	22	22	12	12	
	2	16	18			2	18	6	22	4	4	2 (5s) ⁱⁱⁱⁱ
5	2	20	22	22	0	2	22	2	22	0	0	2 (5s) ⁱⁱⁱⁱ
4	2	8	10	22	12	2	10	14	22	12	0	2 (5s) ⁱⁱⁱⁱ
2	1	2	2	2	0	0	2	0	2	0	0	

mero 3; como en el caso presente del evento 3 parten tres actividades de salida (las 3-6, 3-7 y 3-9) omitimos la inclusión de este evento en la columna I, y registramos aparte, en la columna llamada control de salidas, esta circunstancia, expresada en la forma siguiente 3 (3 s)' que indica: el nudo 3 tiene 3 salidas de las cuales ya hemos encontrado 1 (') que es la primera aparición del nudo 3. Seguimos descendiendo por la columna II y encontramos el número 2; como el 2 representa un evento con 5 salidas, lo registramos a la derecha de nuestro cuadro, como anteriormente, 2 (5s)' y no lo pasamos a la columna I todavía; continuando el mismo proceso por la columna II encontramos el número 7; como representa un evento con una sola salida la pasamos a la columna I y en correspondencia con él, anotamos los números 6 y 3 en la columna II que son los nudos de donde proceden las actividades que terminan en dicho evento 7. Nuevamente continuamos descendiendo por la columna II y hallamos el número 5; como el 5 representa un evento con dos salidas, lo registramos a la derecha como anteriormente, 5 (2 s)' y no lo pasamos a la columna I; por lo tanto, continuamos descendiendo y aparece el número 6; el cual representa un evento con una sola salida, por lo que lo pasamos a la columna I, y anotamos los números 3 y 2 correspondientes con el 6 en la columna II ya que representan los nudos de donde proceden las actividades que terminan en 6. Seguimos descendiendo por la columna II y encontramos el número 3, segunda salida del evento 3 que ya estaba anotado una vez en el registro de la derecha; anotamos esta segunda salida en ese registro con una nueva coma (3 (3s)'') y continuamos descendiendo por la columna II, en donde de nuevo aparece el 3, y al encontrar ya su tercera salida

lo señalamos en el registro 3 (3s)'' y entonces incorporamos el 3 a la columna I definitivamente, y con él sus entradas en la columna II que son 5, 4 y 2.

Este procedimiento se continúa con los restantes nudos de la columna II que se van incorporando sucesivamente a la columna I hasta agotar todas las actividades.

Conviene advertir que este procedimiento indica cualquier posible error cometido, pues en tal caso hay una solución de continuidad que imposibilita continuar el proceso.

Una vez que se ha terminado con la ordenación de las actividades, se anotan en la columna III los tiempos esperados para cada una de las actividades según el orden anterior.

Para obtener los T_E , se comienza por el final del cuadro, como el evento 2 último de la columna I está conectado con el origen, y el tiempo estimado de la duración de la actividad 1-2 es 2, este valor será el T_E del evento 2.

El evento 4 está conectado con el evento 2, y por lo tanto para llegar al evento 4 será a partir del T_E de 2 más la duración esperada para la actividad 2-4 por lo que el T_E para 4 es de 10 ($2+8$) con el evento 5 se procede en la misma forma anterior.

Para el evento 3, que está conectado con los eventos 2, 4 y 5 se procede igual que en el caso anterior, escogiéndose como el T_E para dicho evento a la suma mayor que se obtiene al probar los tres caminos o sea que si lo obtenemos a partir de 2 se tiene $2+16=18$; a partir de 4 se tiene $10+0=10$ y finalmente a partir de 5 se tiene $22+0=22$ que en definitiva es el T_E del evento 3.

Así ascendiendo iremos determinando los T_E de cada evento de la

columna I, que aparecen rodeados por un cuadrado.

El T_E del evento o suceso final-objetivo del programa nos da la duración total estimada del proyecto.

Obsérvese que los restantes valores de la columna IV, no afectados con un cuadrado, expresan a su vez el tiempo más breve de terminación de la actividad a que hacen referencia.

Para el cálculo de la columna V, se comienza por el evento final-objetivo para el cual hemos decidido que la fecha más alta de término del proyecto sea igual a su T_E o sea que $T_{L10} = T_{E10} = 60$ semanas. Luego descendiendo por la columna I vemos que el evento siguiente es el 9 para el cual se tiene que $T_{L9} = T_{L10} - te_{9-10}$ o sea que: $T_{L9} = 60 - 4 = 56$.

Seguidamente para los eventos 8, 7 y 6 el procedimiento es similar al del evento 9; en cambio para el evento 3, que es el que sigue en la columna I, está repetido en la columna II 3 veces como evento de salida de actividades, la 3-6, 3-7 y 3-9 por lo que su T_L será la menor de las 3 diferencias siguientes:

$$\frac{36 - 0}{36} \quad \frac{40 - 16}{24} \quad \frac{56 - 34}{22}$$

$$\frac{T_{L6} - te_{3-6}}{36} \quad \frac{T_{L7} - te_{3-7}}{24} \quad \frac{T_{L9} - te_{3-9}}{22}$$

que resulta ser 22.

Así procedemos hasta agotar todos los nudos de la columna I.

Hay que tener en cuenta que en virtud de la propia definición del T_L de cada suceso, este tiempo representa también la fecha más tardía en que podemos retrasar la terminación de todas las actividades que convergen en el nudo representativo de aquel suceso.

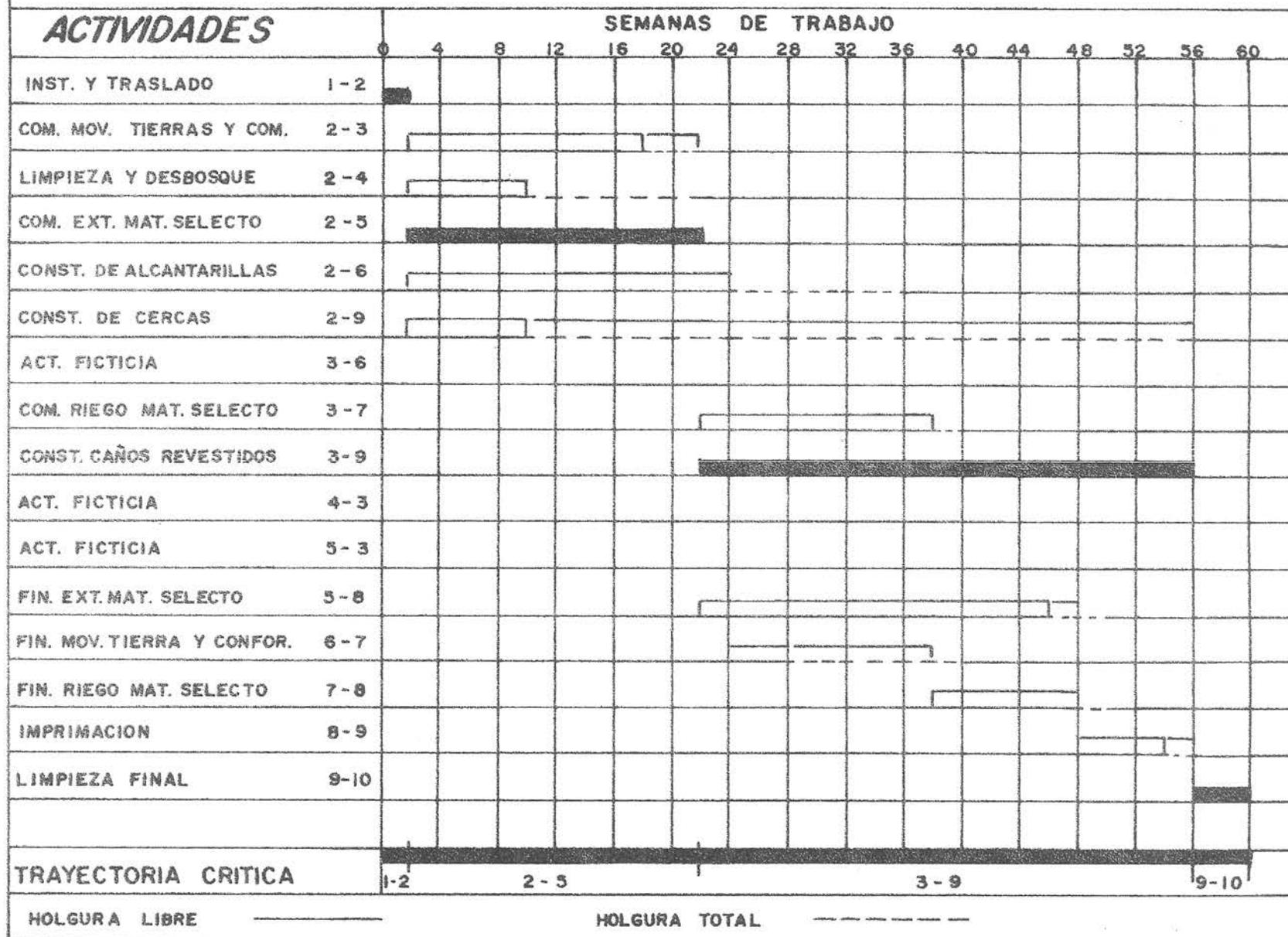
Como se puede observar en el cuadro anterior, cada evento y cada actividad se han analizado de tal forma que cualquier retraso o adelanto en su tiempo de ejecución podrá ser fácilmente controlado. La trayectoria o ruta crítica que se obtuvo con la programación anterior nos indica que las actividades 1-2, 2-5, 5-3, 3-9 y 9-10 son las que nos van a gobernar la fecha de finalización del proyecto, la cual es de 60 semanas y se indica para la actividad 9-10 en el cuadro anterior como el $T_E=60$ y el $T_L = 60$; esto es considerando que se ha convenido en que la fecha de finalización del proyecto, que se obtuvo con el presente estudio, será igual a la fecha en que se desea que el proyecto esté concluido. En el caso contrario, en que de antemano se hubiera establecido una fecha de finalización menor que las 60 semanas, será necesario realizar otra nueva programación, disponiendo por supuesto con mayores recursos para la realización del proyecto en el tiempo requerido.

Una vez que los trabajos se inicien será necesario ir comparando el avance del proyecto con respecto a lo programado con el objeto de ir adaptando el diagrama y a la vez proveer futuras causas de demoras que pueden presentarse para efecto de tomar las medidas necesarias y tratar de evitarlas. De presentarse una demora será necesario examinar en el diagrama de flechas los trabajos que faltan por ejecutar y determinar cuidadosamente cuales actividades pueden impulsarse al menor costo y causando los mínimos inconvenientes.

Luego que las diferentes actividades se han analizado será conveniente preparar un diagrama de barras convencional como el que se adjunta, en donde las actividades que son críticas se indican

por barras llenas y las que no son críticas por barras vacías con sus márgenes de tiempo indicados por líneas continuas y de trazos. En la confección de este gráfico, se parte con las actividades, desde su fecha más baja de inicio con lo cual la holgura se indica como continuación de su respectiva barra.

**PROGRAMA DE TRABAJO
PROYECTO PAVONES-SIQUIRRES**



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Schedule, Cost and Profit Control with Perth

Robert W. Miller

Mc Gr~~aw~~ - Hill Book Company

_____ 0 _____

Método del Camino Crítico

A Kaufmann - G. Desbazeille

Editorial Sagitario, S.A. Barcelona

_____ 0 _____

A manual for applying the critical

Path. Method to High way Department

Engineering & Administration

U.S. Department of Commerce.

_____ 0 _____

Caminos y Construcción Pesada

Setiembre 1963

_____ 0 _____

Civil Engineering

August 1962

_____ 0 _____

Transaction of the American Society of Civil Engineers

Vol. 129 1964

_____ 0 _____

"Estadística"

Journal of the Inter-American

Statistical Institute

Marzo 1964

Pert-----a dynamic project

Planning & Control Method

I. B. M.

_____0_____

Engineering News - Record

March 14, 1963

_____0_____

Introducción al Sistema Pert.

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de Chile

_____0_____