

V. Optimización de Tiempos y Recursos

En un proyecto determinado la terminación de cada actividad requiere el empleo de cierta cantidad de recursos y una cantidad específica de tiempo. Con un mínimo de recursos y un máximo de tiempo, se termina una actividad con un costo y una duración normal. Si se cuenta con formas rápidas y costosas, los recursos adicionales permiten que la actividad se acabe con una duración menor, aunque con un costo más elevado, es por ello que en este capítulo se analizará la forma en que se pueden determinar los tiempos y recursos óptimos para la realización de un proyecto.

V.1 Compresión de Redes

Si la duración obtenida en la programación de un proceso no satisface los objetivos inicialmente planteados, el Método de la Ruta Crítica y el de Teoría de Nodos permiten hacer reducciones mediante la compresión de tiempos de las actividades del proceso.

La compresión de redes es el proceso de acortar el tiempo de duración de un proyecto, determinado por el Método de la Ruta Crítica o por el de Teoría de Nodos.

El costo directo se forma de la suma de los costos de materiales, mano de obra y de maquinaria y el costo indirecto es una función directa del tiempo de duración del proyecto.

Cuando la duración de un proyecto se acorta, es frecuente que los costos aumenten debido a un mayor uso de recursos principalmente. También ocurre que cuando ésta duración se alarga, los costos se incrementan por un mal manejo de dichos recursos.

De lo anterior, se puede observar que la duración, el costo y los recursos necesarios para ejecutar una actividad son tres factores ligados entre sí.

Gráficas Duración-Costo y Duración-Recursos.

Las relaciones entre la duración, costo y recursos pueden representarse en gráficas para su mejor entendimiento. Un caso muy especial es el estudio de la variación de los costos cuando el tiempo de ejecución se reduce.

Para este caso se puede tener las siguientes limitantes de los recursos:

❖ Limitantes por falta de espacio.

En este caso las actividades pueden ejecutarse disponiendo de personal y equipo en cantidades ilimitadas, pero el costo tiende a incrementarse al reducir los tiempos de ejecución debido principalmente a la disminución de rendimientos y falta de espacio.

❖ Limitaciones en el personal.

En este caso, si se desea acortar la duración de las actividades, el costo se incrementa debido a la disminución de los tiempos efectivos de trabajo por hacer uso de tiempos extras.

❖ Limitaciones en el uso de equipo disponible.

En este caso para reducir la duración de una actividad, se recurre a la utilización de varios turnos de trabajo, incrementando de esta manera los costos por disminución de los tiempos efectivos de trabajo y rendimientos.

Cualquiera que sean las condiciones impuestas a los recursos, la relación entre el costo y el tiempo siempre tiene una gráfica parecida a la de la figura 35.

De la gráfica mencionada, es posible obtener la duración para la cuál el costo de ejecución es el mínimo dadas ciertas condiciones normales para realizar las actividades. A esta relación se le llama duración normal y al costo correspondiente, costo normal.

Por otra parte, existe una limitante inferior para la duración, llamada duración límite o de premura a la cual corresponde un costo límite o de premura. Esta duración de premura se caracteriza porque no pueden reducirse más los tiempos de ejecución aunque se incrementen indefinidamente los recursos para ello, logrando únicamente incrementar los costos.

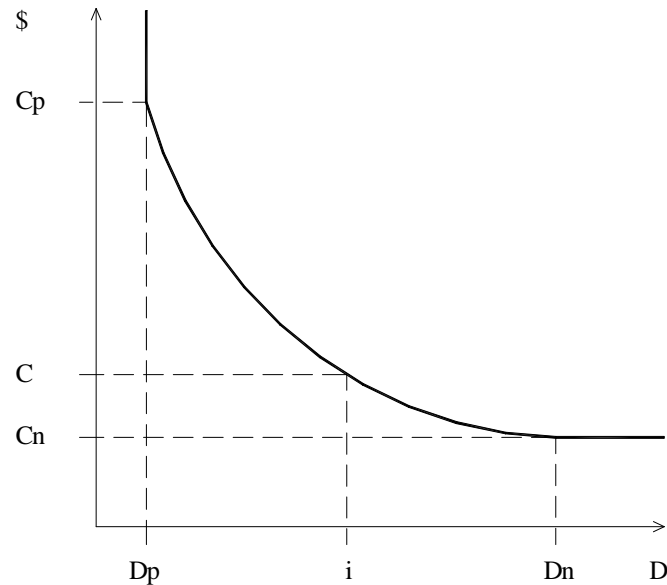


Figura 35 Gráfica de Costos-Duraciones

Costo Necesario para Reducir una Actividad

La gráfica de Costo-Duración de una actividad, como la mostrada en la figura 35, se puede simplificar para su uso como la mostrada en la figura 36.

En esta nueva gráfica, es posible determinar el gasto necesario para reducir la duración de una actividad en un período de tiempo entre el normal y el de premura. Para ello se usa la siguiente expresión.

$$Q_{np} = \frac{C_p - C_n}{D_n - D_p}$$

Donde:

Q_{np} = Gasto necesario para reducir una actividad en una unidad de tiempo entre las duraciones normal y de premura

- C_p = Costo Límite o de Premura
 C_n = Costo Normal
 D_n = Duración Normal
 D_p = Duración Límite o de Premura

Cuando una actividad se ejecuta en un tiempo normal, se dice que dicha actividad tuvo una duración normal. En cambio, cuando la duración de una actividad se acorta hasta su duración límite, se dice que esa actividad tiene una duración de premura.

La duración de premura se obtiene de igual manera que la duración normal, es decir, volumen/rendimiento, pero con la utilización de un mayor número de recursos que aunque aumenta la producción, el rendimiento de cada maquinaria o el del personal, disminuye, por lo que aumenta el costo.

De lo anterior podemos decir que el costo de premura está en función de la cantidad de recursos necesarios para poder disminuir la duración del proyecto.

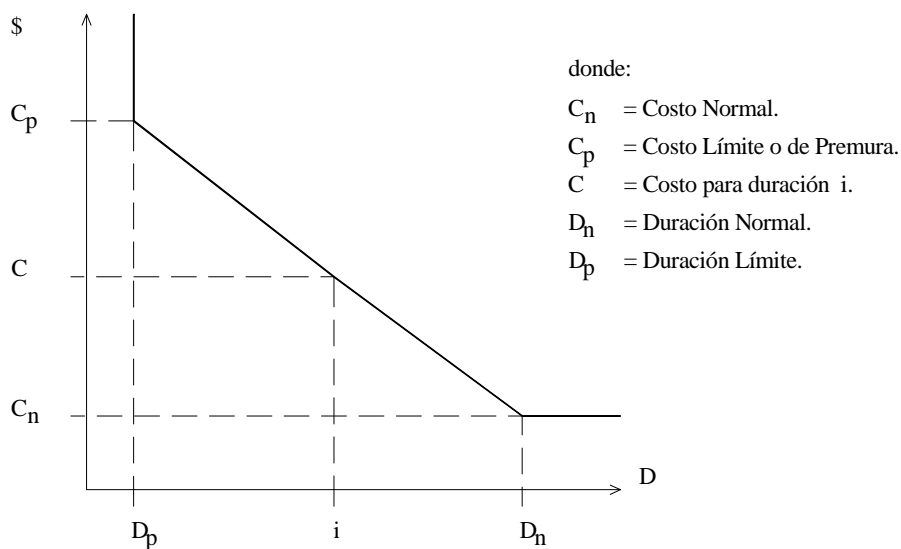


Figura 36 Gráfica Lineal Simplificada de Costos-Duraciones

Procedimiento de Compresión de Redes.

Independientemente del tipo de programación a efectuar, la compresión de redes se efectúa directamente sobre el Diagrama de Flechas del proceso en cuestión con la siguiente secuencia de trabajo:

- a) Se eligen aquéllas actividades cuya holgura total sea igual a cero, de manera que cualquier reducción sobre sus tiempos de ejecución se refleje en la duración total del proceso.
- b) De las actividades que forman la Ruta Crítica, se escogerán para su acortamiento, aquellas cuyo costo de reducción sea el más bajo.
- c) Con las nuevas duraciones asignadas a las actividades, se procede al cálculo de la tabla de tiempos.
- d) De la tabla de tiempos se determinan nuevamente aquellas actividades que sean críticas ($HT = 0$) y por consiguiente, la Ruta Crítica. En esta etapa puede suceder que al término de la compresión aparezca una o más Rutas Críticas adicionales a la ya existente u otra diferente.
- e) En caso de necesitar seguir acortando la duración total del proceso y en caso de tener una o más Rutas Críticas adicionales, la compresión se deberá hacer simultáneamente y por el mismo período de tiempo en las actividades de ambas rutas.
- f) En cada compresión se debe tener cuidado en no acortar actividades más allá de su duración de premura, puesto que esta es la limitante para que el costo se incremente indefinidamente.
- g) En cada compresión es posible calcular el nuevo costo del proceso con la siguiente expresión:

$$\text{Costo } n = \text{Costo } n-1 + (Q_{np}) \text{ ND}$$

Donde:

Costo n	= Costo del proceso con la última compresión realizada
Costo n-1	= Costo del proceso con la penúltima compresión
Q_{np}	= Gasto necesario para reducir una actividad en una unidad de tiempo entre las duraciones normales y de premura.
ND	= Unidades de tiempo acortadas en la última compresión.

Cuando se desea realizar un Proceso Constructivo en el menor tiempo posible, es común efectuar todas las actividades del proceso en el menor tiempo posible, es decir, en condiciones límites. Esta manera de proceder conduce a un incremento innecesario del costo del proceso; pues como se ha visto deben acelerarse las actividades que producen acortamiento de tiempo. Hay actividades que no es útil acortar pero que de hacerlo incrementan el costo.

En base a lo anterior, podemos decir lo siguiente:

- a) La duración mínima de un Proceso Constructivo, resulta cuando todas las actividades en la o las Ruta(s) Críticas(s) tienen duraciones de premura.
- b) Existe una infinidad de combinaciones de las actividades de un proceso, para las cuales la duración de éste es la mínima.
- c) El costo máximo de ejecución de un proceso se da cuando la duración de éste es la mínima.
- d) Las duraciones posibles de proceso se encuentran entre la duración mínima y la duración normal.

Reprogramación Total por Limitantes del Tiempo.

Para aquellos casos en que la duración total del proceso, obtenida de su planeación y programación original, no cumple con los objetivos trazados, el Método de la Ruta Crítica y el de Teoría de Nodos permite su reprogramación total asignando para ello una nueva cuantificación al proceso.

Esta cuantificación significa definir nuevas duraciones y por lo tanto, nuevas distribuciones de los recursos y costos de las actividades que componen el Proceso Constructivo.

Puede suceder, en algunos casos, que las necesidades de esta nueva reprogramación nos lleve al extremo de cambiar el Proceso Constructivo, con lo cual la planeación y programación original se desecha.

Cuando se trata de no alejarse de los planteamientos originales, la reprogramación se concreta a acortar el tiempo de ejecución total del proceso. La secuencia de tal reprogramación, así como las herramientas para ello se enlistan a continuación:

- a) Para llevar a cabo la reprogramación total por limitantes de tiempo, se necesita contar con el diagrama de flechas, el diagrama de barras y la tabla de tiempos de la programación original.
- b) También es necesario contar con la fecha o fechas límites señaladas por los objetivos del proceso.
- c) Se determina el número de unidades de tiempo, que es necesario acortar en el proceso, mediante la resta de tiempos de las fechas de terminación señalada y fecha de terminación originalmente calculada.
- d) Teniendo en cuenta el período de tiempo a reducir y los datos de la relación duración-costo de cada actividad, se procede a la compresión de redes como se explicó anteriormente, hasta obtener la fecha señalada por los objetivos.
- e) Una vez lograda la fecha señalada, se procede al cálculo de la tabla de tiempos, a la construcción del nuevo diagrama de barras y a la correspondiente asignación de recursos.

Reprogramación Parcial por Avance de Obra.

Una vez iniciada la ejecución física de la obra, es necesario establecer controles con el objeto de verificar que los datos y los resultados de nuestra planeación y programación correspondan con lo realmente ejecutado. Estos controles permiten vigilar que las actividades se ejecuten con el tiempo, costo y recursos originalmente programados.

En la Industria de la Construcción es frecuente que las desviaciones de un proceso con respecto a lo originalmente programado se manifiesten en hechos como los siguientes:

- a) Que se retrasen algunas actividades por causas imprevistas.
- b) Que la disposición de recursos exigida por la asignación de recursos no sea posible efectuar con la rapidez requerida.
- c) Que sean necesarias modificaciones a algunas partes del proceso.
- d) Que se detecten errores en las duraciones o asignaciones de recursos originalmente planteados.

El Método de la Ruta Crítica y el de Teoría de Nodos permiten analizar los efectos que producen los hechos anteriores y hace posible tomar las decisiones para contrarrestarlos.

Con los datos proporcionados por un control de avance, la reprogramación parcial de un proceso se realiza con el siguiente procedimiento y con las siguientes herramientas:

- a) Para el proceso analizado es necesario contar con su diagrama de flechas, diagrama de barras y la tabla de tiempos calculados.
- b) También es necesario contar con el reporte de avance de obra de las actividades que componen al proceso, para la fecha en que se pretenda analizar la situación de la obra.
- c) Para aquellas actividades que estén ejecutando en el momento del análisis, se obtienen las fechas de terminación más probable y próxima, tomando en cuenta el avance obtenido a la fecha, la duración originalmente programada y las condiciones reales para su cumplimiento.
- d) Las fechas de terminación o de inicio de las actividades siguientes se vacían en el diagrama de flechas y con ellas se procede al cálculo de la nueva duración del proceso y por consiguiente una nueva tabla de tiempos y una nueva asignación de recursos.
- e) El siguiente paso consiste en comparar los resultados obtenidos; respecto a los originalmente planteados. Por lo general, en estos casos se presentan retrasos que no siempre son posibles de asimilar, por lo que se toman las medidas necesarias para hacer que el proyecto termine en la fecha señalada, lo cual se logra con una compresión del diagrama de flechas del proceso.
- f) Si la decisión es aportar duraciones mediante el proceso de compresión de la red, de aquí en adelante se procede de acuerdo a la secuencia antes mencionada.

V.2 Reasignación de Recursos

El proceso de asignación de recursos que se describió anteriormente se aplica a la solución de problemas en situaciones en donde el número de recursos o la duración del proyecto son fijos. También se ven afectados los costos del proyecto por la rapidez de adquisición, el retiro y cantidad de recursos empleados en el proyecto en un momento dado. La rapidez de contratación de trabajadores influencia los costos correspondientes y tienen ciertas consecuencias sobre la productividad. El porcentaje de despidos afecta la moral y, por consiguiente, la productividad. El costo de proporcionar servicios de acomodo en el lugar del proyecto está regulado por el número máximo de trabajadores necesarios en el mismo. Para asegurarse de la adquisición gradual y despido y tamaño razonable de la fuerza de trabajo se recomienda hacer una Reasignación de Recursos. Este proceso también se aplica al evaluar el uso del equipo o de cualquier otro recurso.

Esto es, otra de las ventajas que se ofrece a quien utilice el Método de la Ruta Crítica o el de Teoría de Nodos para administrar una obra, consiste en que permite “nivelar” los requerimientos de recursos a lo largo de la misma.

Pueden darse diversos usos al Programa de Obra, dependiendo del parámetro usado: inversiones, costo de obras, distribución y mejor utilización de la maquinaria, de personal, etc.

Como ya se indico anteriormente, los recursos requeridos para la ejecución de las actividades de un proyecto dependen de varios factores. Entre ellos pueden citarse los siguientes:

- a) Volumen de obras a ejecutar.
- b) Duración del proyecto.
- c) Procedimiento de construcción seleccionado.
- d) Equipo seleccionado y su rendimiento previsto.
- e) Calidad del producto terminado.
- f) Condiciones locales: clima, espacio para ejecutar la obra, restricciones locales, etc.

Entre otros que dependen de cada caso en particular. Muchas veces, al buscar optimizar la programación de las actividades de un proyecto y revisar los recursos que necesitan cada una de ellas, vemos que hay muchas fluctuaciones del número de recursos requeridos. Tratándose de la mano de obra, posiblemente se necesitan 30 hombres un día, 20 al otro día, 40 al tercero y así sucesivamente; esto no conviene pues el proyecto sería costoso e ineficaz a todas luces. El Método de la Ruta Crítica y el de Teoría de Nodos, al permitir planear varias alternativas de operación, ofrece una solución práctica al problema de reprogramar de manera uniforme los recursos requeridos para ejecutar una obra.

Para lograr una “nivelación” de recursos se parte del diagrama de barras obtenido, en el que no se ha hecho uso de las holguras, luego se estima el total de recursos necesarios para realizar cada actividad y su distribución a lo largo del tiempo. Estos datos se vacían en el Programa de Obra. Si obtenemos una distribución inconveniente, podemos intentar otras alternativas, para lo cual solamente podremos usar las actividades no críticas; el rango en el cual podrá moverse la actividad queda definido por su holgura total, quedando comprendido entre I_p e I_r .

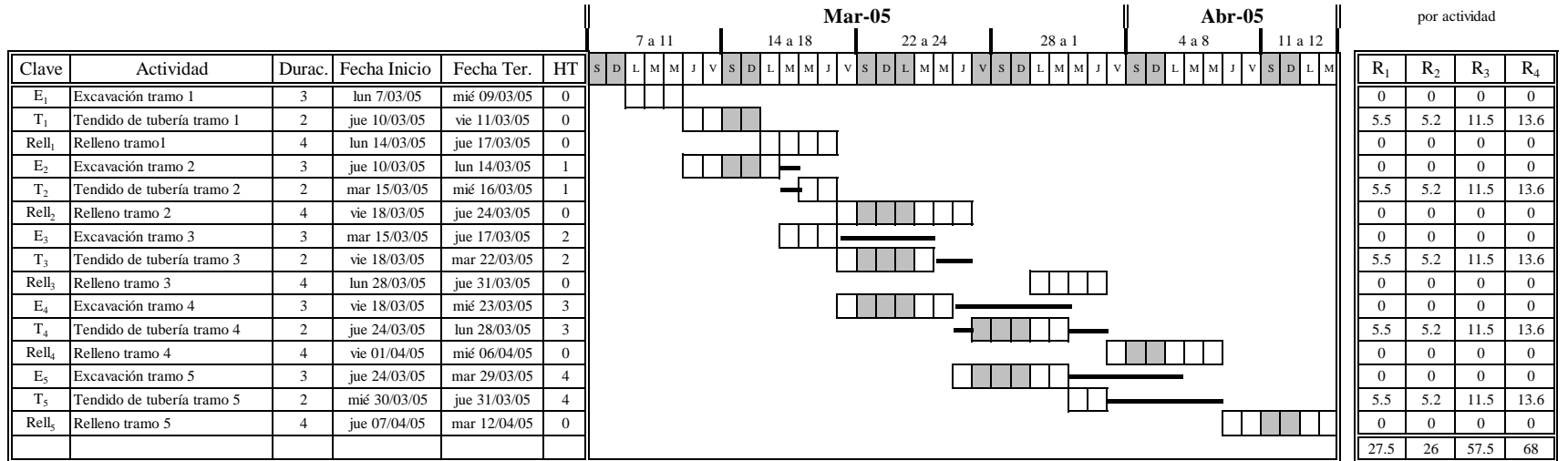
Para ejemplificar el fin de una reasignación de recursos, retomare el ejemplo que planteo en el subcapítulo III.4, llamado Instalación de Tubería.

Cabe la aclaración de que la reasignación de recursos se puede realizar en cualquiera de los Programas, sin embargo, analizando cada uno de ellos se observa que existen fluctuaciones considerables en el Programa de Mano de Obra, es por esta situación que se tomará éste para llevar a cabo dicha reasignación.

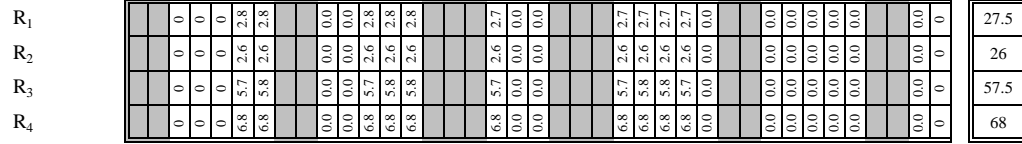
A criterio se selecciona de las actividades que tienen holgura las que habrá de reasignarse. Para este caso en particular, las actividades T_2 y T_4 son las elegidas por lo comentado anteriormente. Para la actividad T_2 con holgura de un día se desfazará en un día, esto es, la actividad T_2 que inicialmente se llevaría a cabo el día martes 15 de marzo, haciendo uso de la holgura disponible ahora se propone iniciarla el miércoles 16 de marzo y finalizarla el día jueves 17 de marzo. La holgura que teníamos al final de la actividad se indicará ahora al inicio de esta. Este mismo razonamiento se realiza para la actividad T_4 .

Posteriormente se hace nuevamente el cálculo de distribución de los recursos para cada actividad y se realiza la suma vertical por día, o unidad de medición seleccionada, obteniendo el concentrado total de recursos, teniendo de esta manera la reasignación de recursos para el Programa de Utilización de Mano de Obra como se observa en la figura 37, donde se puede apreciar una mejora (optimización) en el uso de mano de obra.

La reasignación hecha en el Programa de Utilización de Mano de Obra se lleva a cabo de la misma manera en los Programas de Materiales, Maquinaria y de Egresos quedando como se observa en las figuras 38, 39 y 40.

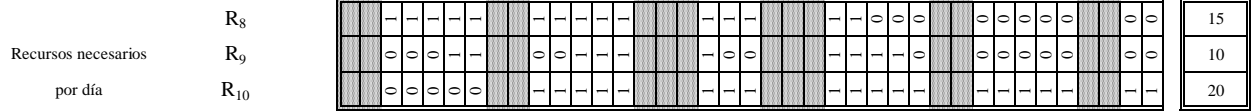
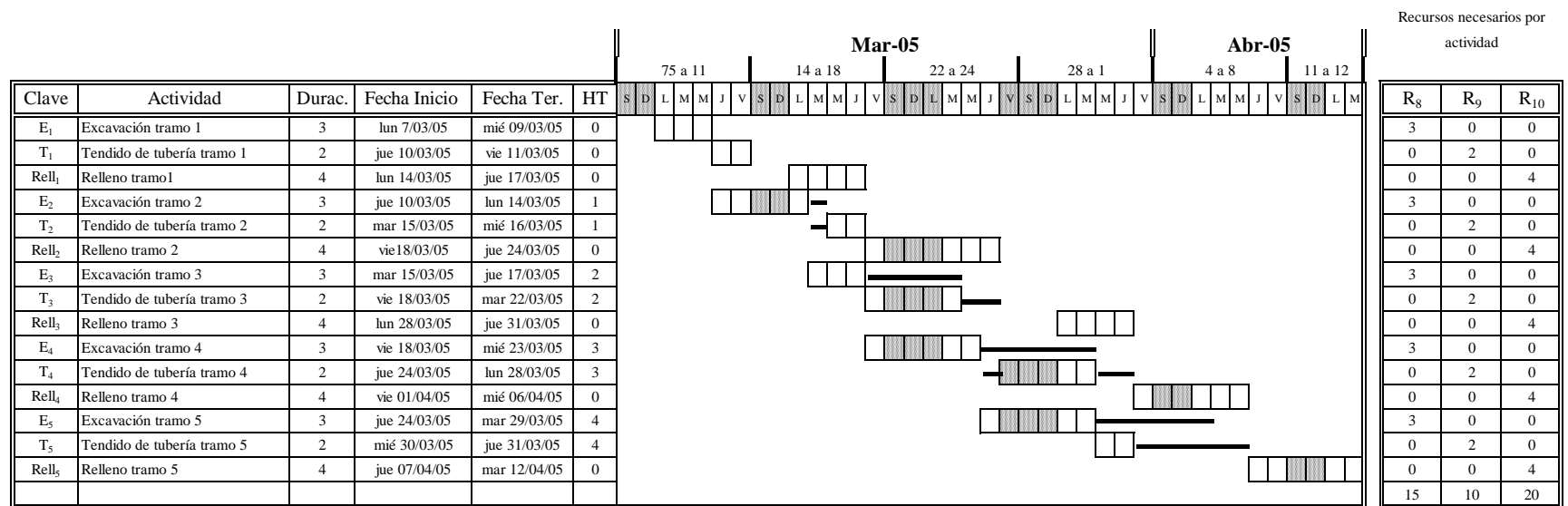


Recursos necesarios por día



R₁ Cemento (ton)
R₂ Agua (m³)
R₃ Arena (m³)
R₄ Grava (m³)

Figura 38 Reasignación de Recursos del Programa de Utilización de Materiales (Instalación de Tubería)



- R₈ Retroexcavadora (jor)
- R₉ Tractor tiende tubos (jor)
- R₁₀ Cargador frontal (jor)

Figura 39 Reasignación de Recursos del Programa de Utilización de Maquinaria (Instalación de Tubería)

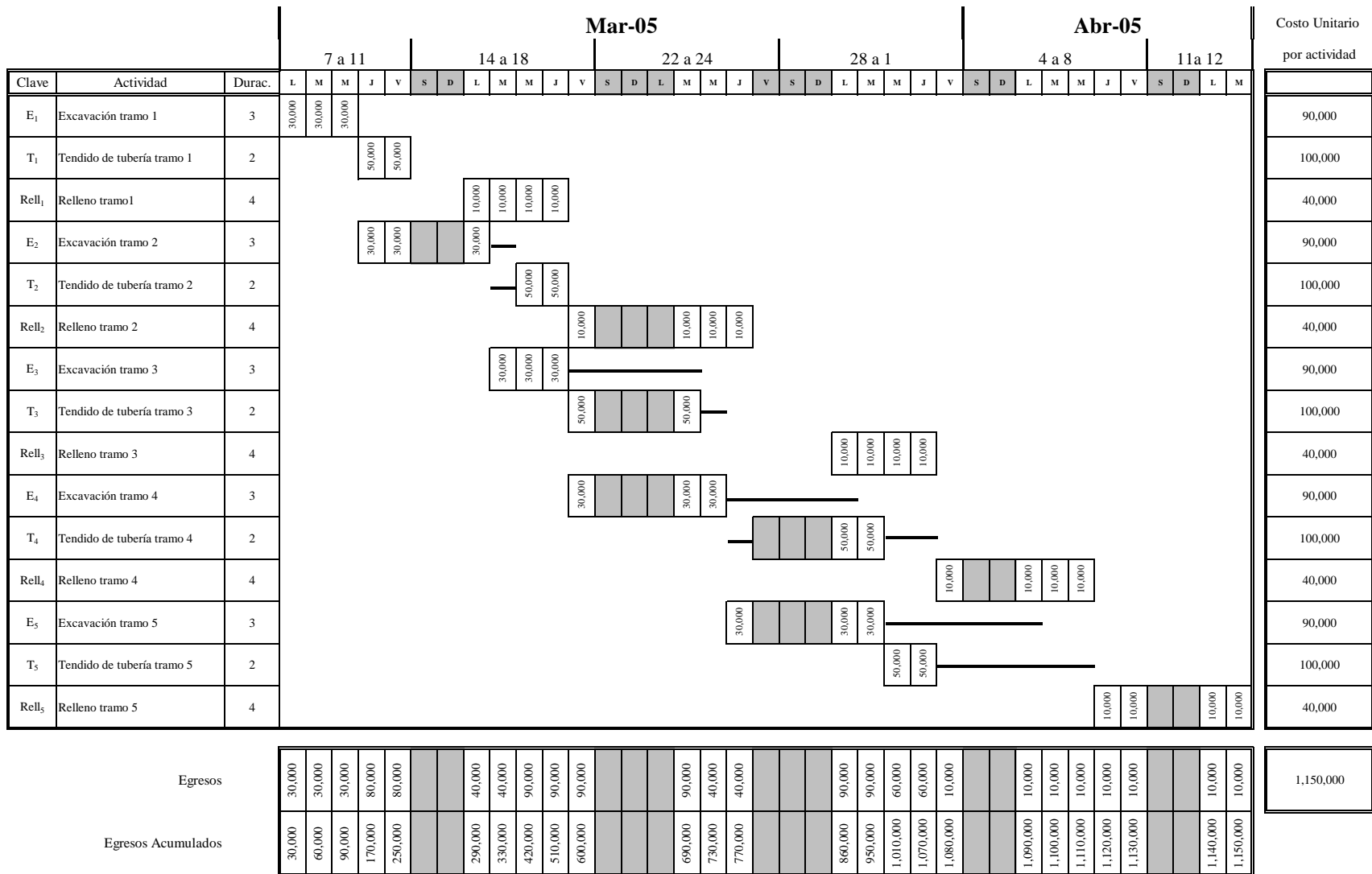


Figura 40 Reasignación de Recursos del Programa de Egresos (Instalación de Tubería)