

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA CPM EN EL USO INTENSIVO DE RECURSOS

Politécnico Grancolombiano explica,

Un proyecto se conforma por actividades, las cuales se diferencian entre sí por el tipo y cantidad de recursos que requieren. Estos recursos generan para cada actividad un costo determinado en condiciones normales de ejecución e influyen sustancialmente en su tiempo de realización.

UN PROYECTO SE CONFORMA POR ACTIVIDADES, LAS CUALES SE DIFERENCIAN ENTRE SÍ POR EL TIPO Y CANTIDAD DE RECURSOS QUE REQUIEREN.

Analizando los tres componentes de un proyecto (recursos, costos, y tiempos) puede concluirse que:

- La cantidad de recursos utilizados en ejecutar una actividad es directamente proporcional al costo de esta. De esta manera, si dos actividades en un proyecto utilizan el mismo tipo de recurso, pero en distinta cantidad, se esperaría que por este concepto la actividad más costosa será la que utilice en mayor proporción este tipo de recurso. Por ejemplo, levantar un muro de 12 metros de altura es más económico que levantar un muro de 3 metros de altura, ya que requerimos más cemento, arena, ladrillos y operarios para ejecutar dicha actividad. Sin embargo, puede que esta relación de proporcionalidad no sea lineal.
- La cantidad de recursos utilizados en ejecutar una actividad es inversamente proporcional al tiempo de ejecución de la esta. Esto nos indica que un uso intensivo de recursos da como resultado que la actividad pueda ser entregada en un tiempo menor al establecido, de acuerdo con un uso normal de dichos recursos.

En este punto, para simplificar el análisis de costos en relación con los tiempos de ejecución, vamos a definir 2 escenarios para la ejecución de una tarea:

Escenario 1 - Uso NORMAL de recursos

En esta situación, se dedica una cantidad promedio de recursos, correspondiente a la esperada para ejecutar una actividad, y como consecuencia de esta asignación "normal" de recursos, la actividad tiene las siguientes características:

- a) Es ejecutada en un tiempo t_N (tiempo normal de ejecución), y
- b) Se incurre en un costo C_N (costo normal de ejecución) para realizarla.

Escenario 2 - Uso INTENSIVO de recursos

En esta situación, se requiere terminar la actividad en el menor tiempo posible. Por ello, se hace un uso intensivo de los recursos requeridos para ejecutarla (asignando más operarios, maquinaria o equipo, por ejemplo). Como consecuencia de esta asignación "intensiva" de recursos, la actividad tiene las siguientes características:

- a) Es ejecutada en un tiempo inferior al tiempo t_n normal. Este tiempo se denomina t_c (tiempo comprimido de ejecución), y
- b) Se incurre en un costo C_N (costo comprimido de ejecución), mayor al costo normal de ejecución.



¿POR QUÉ HACER UN USO INTENSIVO DE RECURSOS?

Esta decisión puede deberse a distintas causas. Las más comunes son las siguientes:

- Existe una bonificación por terminar el proyecto, en un tiempo menor al esperado. Por ejemplo, si dos proyectos de urbanización compiten en el mismo mercado, aquel que esté listo para ser ofrecido a la venta antes tendrá una ventaja competitiva. Por lo tanto, la constructora de este proyecto puede tomar la decisión de ofrecer una bonificación a los gestores de este proyecto, para que aceleren la terminación. Esta bonificación o recompensa suele expresarse en unidades monetarias por cada día reducido.
- Durante el control del avance del proyecto, se detectan retrasos en actividades críticas y se determina que se debe intensificar el uso de recursos para recuperar el tiempo perdido por dichos retrasos.

En cualquiera de estas situaciones es clave definir cuáles actividades van a ser comprimidas, de forma que el sobrecosto asociado con dicha decisión sí genere un impacto real en el tiempo de ejecución del proyecto. Es importante hacer énfasis en que solo las actividades que hacen parte de la ruta crítica del proyecto pueden impactar en reducir el tiempo de ejecución del proyecto.

Ahora, para determinar cuál(es) actividad(es) reducir, usted como gestor de un proyecto debe tener en cuenta varios factores:

- ¿Cuáles actividades pertenecen a la ruta crítica?
- De ellas, ¿cuánto tiempo puede reducir como máximo cada una de ellas?, y
- ¿Cuánto cuesta reducir cada actividad, en relación con los días en los que puede ser reducida? (págs. 1-3)

Ahora, veremos cómo tener en cuenta estos factores para comprimir de forma óptima el tiempo de entrega del proyecto.

Como ya hemos venido mencionando, se requiere acelerar el tiempo de terminación de un proyecto, pero a usted como gestor de un proyecto le conviene definir cuáles actividades serán candidatas a comprimirse, para lograr que esta reducción se haga al menor costo posible.



Politécnico Grancolombiano en su segunda lectura menciona,

La técnica CPM resuelve este problema en 4 simples pasos que permiten comprimir un proyecto de forma óptima, al menor costo de compresión posible.

Metodología para la compresión de proyectos

Paso 1: Encontrar la ruta crítica normal e identificar las actividades críticas.

Para ilustrar el procedimiento de compresión de actividades, tomemos como ejemplo el siguiente proyecto: (págs. 1)

LA TÉCNICA CPM RESUELVE ESTE PROBLEMA EN UNA SERIE DE PASOS QUE PERMITEN COMPRIMIR UN PROYECTO DE FORMA ÓPTIMA, AL MENOR COSTO DE COMPRESIÓN POSIBLE.

La descripción del ejemplo es tomado de Politécnico Grancolombiano Bogotá D.C. (Colombia). (s.f) Modelo de toma de decisiones: Unidad 4: Semana 11: Lecturas: CPM y el uso intensivo de recur-

sos_rev_HDC. [docx]. Curso disponible en Library: Red Ilumno. [id de curso: 1860747]. [Actualización 12 diciembre. 2014]. [Consulta 22 julio. 2014]. Adaptado a una realidad cercana

Ciudadparques Ltda. es una empresa dedicada a la construcción y adecuación de instalaciones deportivas y recreativas, con sede en varias ciudades del país. Durante el último mes, Ciudadparques ganó una licitación para construir un parque de diversiones en la provincia de San José. Las actividades requeridas para construir el parque, así como los costos (en dólares) y tiempos (en semanas) en el escenario normal e intensivo se muestran a continuación:

ACTIVIDAD	T_N	C_N	T_C	C_C	RELACIÓN DE PRECEDENCIA
A	4	2000	3	3200	-
B	2	4000	1	5400	-
C	1	600	1	600	-
D	6	2600	2	3200	A
E	6	1700	2	2000	B
F	2	8000	1	10000	C
G	7	3000	1	4000	D,E

Fuente: Grancolombiano Bogotá D.C. (Colombia). (s.f) Modelo de toma de decisiones:Unidad 4:Semana 11:Lecturas: CPM y el uso intensivo de recursos_rev_HDC. [docx]. Curso disponible en Library:Red Ilumno. [id de curso: 1860747]. [Actualización 12 diciembre. 2014]. [Consulta 22 julio. 2014].

Aplicando el procedimiento que ya hemos visto para calcular las holguras de las actividades, las distintas rutas del proyecto e identificar la(s) ruta(s), obtenemos los siguientes resultados:

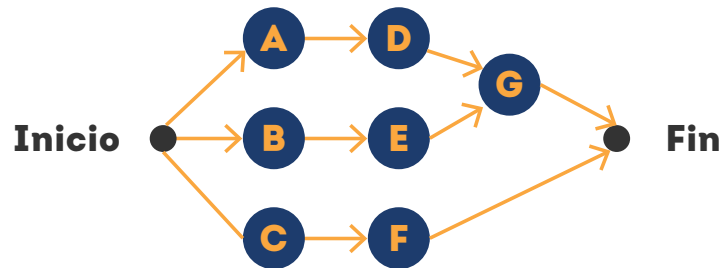


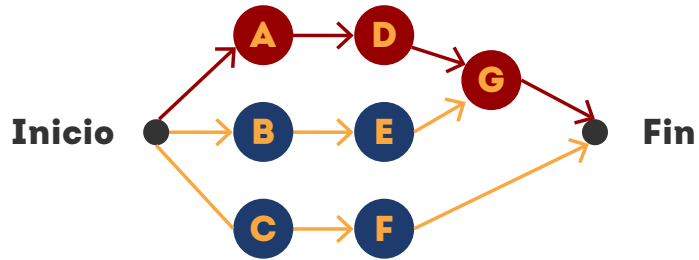
Diagrama de red del proyecto - Ciudadparques Ltda.

ACTIVIDAD	T _N	C _N	T _C	C _C	PRECEDENCIA	ES	EF	LS	LF	H
A	4	2000	3	3200	-	0	4	0	4	0
B	2	4000	1	5400	-	0	2	2	4	2
C	1	600	1	600	-	0	1	14	15	14
D	6	2600	2	3200	A	4	10	4	10	0
E	6	1700	2	2000	B	2	8	4	10	2
F	2	8000	1	10000	C	1	3	15	17	14
G	7	3000	1	4000	D,E	10	17	10	17	0

Duración del proyecto **17**

Fuente: Grancolombiano Bogotá D.C. (Colombia). (s.f) Modelo de toma de decisiones:Unidad 4:Semana 11:Lecturas: CPM y el uso intensivo de recursos_rev_HDC. [docx]. Curso disponible en Library:Red Ilumno. [id de curso: 1860747]. [Actualización 12 diciembre. 2014]. [Consulta 22 julio. 2014].

A continuación, se muestra la ruta crítica del proyecto, así como el tiempo total de cada una de las rutas que lo conforman:



Ruta crítica del proyecto - Ciudadparques Ltda. Fuente: Politécnico Grancolombiano. CPM y el uso intensivo de recursos_rev_HDC [Repositorio Digital]. Bogotá, Colombia: Library Red Ilumno. [fecha de publicación: 12 febrero 2014]. [fecha de consulta: 22 julio 2014]. Base de datos disponible en Library Red Ilumno. (págs. 1-2)

Politécnico Grancolombiano explica:

Este proyecto cuenta entonces con tres rutas:

# RUTA	ACTIVIDADES QUE LA CONFORMAN	TIEMPO RUTA (DÍAS)	¿ES RUTA CRÍTICA?
1	A D G	17	SÍ
2	B E	8	NO
3	C F	3	NO
Duración del proyecto		17	

Rutas del proyecto y ruta crítica



Note que solo las actividades A, D y G estarían en capacidad de reducir el tiempo de entrega del proyecto, ya que son las que conforman la ruta crítica.

Para decidir cuál de estas actividades empezar a comprimir, debemos mirar la relación entre los costos de compresión y los tiempos de compresión de cada actividad.

PARA DECIDIR CUÁL DE ESTAS ACTIVIDADES EMPEZAR A COMPRIMIR, SE DEBE MIRAR LA RELACIÓN ENTRE LOS COSTOS DE COMPRESIÓN Y LOS TIEMPOS DE COMPRESIÓN DE CADA ACTIVIDAD.

Paso 2: Calcular el costo marginal de compresión para todas las actividades que conforman el proyecto.

El costo marginal se denota como C_m , y para cada actividad corresponde al sobre costo generado al reducir en una unidad de tiempo su duración actual.

Se calcula entonces como:

$$C_m = \Delta C / \Delta T, \text{ donde}$$

$$\Delta C = C_c - C_n, \text{ y}$$

$$\Delta T = T_n - T_c$$

Este costo marginal nos permitirá identificar las actividades con los sobre costos por compresión más económicos, para así optimizar el tiempo de ejecución del proyecto.

A continuación, se muestran los resultados del cálculo de C_m para cada una de las actividades del proyecto de construcción del parque de atracciones:

ACTIVIDAD	T_N	C_N	T_C	C_C	HOLGURA	ΔC	ΔT	C_m
A	4	2000	3	3200	0	1200	1	1200
B	2	4000	1	5400	2	1400	1	1400
C	1	600	1	600	14	0	0	-
D	6	2600	2	3200	0	600	4	150
E	6	1700	2	2000	2	300	4	75
F	2	8000	1	10000	14	2000	1	2000
G	7	3000	1	4000	0	1000	6	166.67

Costo marginal de compresión de las actividades

Note que la actividad D es la que menor sobrecosto presenta al momento de reducir su duración. Cada día que la reduzcamos cuesta únicamente \$ 150 de costo adicional al costo inicial del proyecto.

El costo base del proyecto (sin acelerar el tiempo de entrega) se obtiene al sumar los costos normales de todas sus actividades. Es decir:

$$\text{Costo base} = \sum_S C_N$$

donde S es el conjunto de actividades del proyecto.

Este proyecto tiene entonces un costo base igual a \$ 21 900, para entregar en 17 semanas.



Suponga que la administración del proyecto ha acordado ofrecer una bonificación de \$ 1250 por cada día en que se pueda recortar el tiempo de entrega del proyecto. Entonces, para que la compresión del tiempo del proyecto sea rentable, se debe seleccionar cuidadosamente hasta qué

NINGUNA ACTIVIDAD PUEDE REDUCIRSE A UN TIEMPO MENOR A SU TIEMPO DE COMPRESIÓN.

punto podemos reducir el proyecto, sin que el costo de reducción sea más alto que el beneficio proporcionado por acelerar el proyecto. Este objetivo se logra en el paso 3 del procedimiento de optimización del proyecto:

Paso 3: Para cada iteración, seleccionar la actividad que pertenece a la ruta crítica, con el costo marginal de compresión más bajo, y reducir dicha actividad al máximo, teniendo en cuenta 2 restricciones clave:

- a) Ninguna actividad puede reducirse a un tiempo menor a su tiempo de compresión (ya que el tiempo de compresión es el menor tiempo en que una actividad podría ejecutarse).
- b) La reducción en el tiempo de una actividad se detiene si aparece una nueva ruta crítica en el proyecto.

Ilustremos este paso en nuestro ejemplo del parque de diversiones.

PRIMERA ITERACIÓN

Las actividades que pertenecen a la ruta crítica y sus costos marginales son: A (\$ 1200), D (\$ 150), y G (\$166.67).

Por lo tanto, nuestra decisión es reducir la actividad D al máximo (ya que tiene el menor costo marginal), teniendo en cuenta las restricciones:

- a) G no puede reducirse más de 4 semanas (el valor de ΔT),
- b) La ruta a la que pertenece D no puede reducirse más de 17-8=9 semanas, ya que en este punto la ruta #1 "alcanzaría" a la ruta #2 en su duración y las 2 se convertirían en rutas críticas con una duración de 8 semanas.

# RUTA	ACTIVIDADES QUE LA CONFORMAN	TIEMPO RUTA (DÍAS)	¿ES RUTA CRÍTICA?
1	A D G	17	SÍ
2	B E	8	NO
3	C F	3	NO
Duración del proyecto		17	

Por lo tanto, nuestra primera decisión es la siguiente:

PRIMERA DECISIÓN: REDUCIR LA ACTIVIDAD D EN 4 SEMANAS, CON UN SOBRECOSTO ADICIONAL DE \$ 150/SEMANA.

Ahora bien, el último paso del procedimiento es verificar si efectivamente es rentable respecto al beneficio que obtenemos al acelerar el proceso.



Paso 4: Verificar que la decisión tomada tenga un sobre costo adicional inferior al beneficio obtenido por acelerar el proyecto. Si este sobre costo es inferior, aceptar la última decisión tomada, actualizar los tiempos del proyecto, y volver al paso 3. De lo contrario, rechazar la última decisión tomada y terminar.

Es recomendable hacer esta comparación en términos del sobre costo por unidad de tiempo. Para clarificar el procedimiento, verifiquemos la validez de la decisión tomada en el paso 3:

El sobre costo por unidad de tiempo para la decisión 1 (reducir la actividad D en 4 semanas) de \$ 150/semana es menor que el beneficio por unidad de tiempo de \$ 1250/semana ofrecido por la administración.

Entonces, aceptamos la decisión 1 (reducir D en 4 semanas) y actualizamos los tiempos de duración de las actividades y de las rutas del proyecto:

ACTIVIDAD	T_N	C_N	T_c	C_c	ΔC	ΔT	C_m	TIEMPO A REDUCIR	TIEMPO REAL ACTIVIDAD
A	4	2000	3	3200	1200	1	1200		4
B	2	4000	1	5400	1400	1	1400		2
C	1	600	1	600	0	0	-		1
D	6	2600	2	3200	600	4	150	4	2
E	6	1700	2	2000	300	4	75		6
F	2	8000	1	10000	2000	1	2000		2
G	7	3000	1	4000	1000	6	166.67		7

Costo base **21900**

Costo adicional **600**

Tiempos de cada actividad – primera iteración



Note que el tiempo real de cada actividad corresponde a su tiempo normal, menos el tiempo a reducir. El costo del proyecto sería de \$ 22 500, correspondientes a \$ 21 900 de costo base más \$ 600 de sobre costo.

En este momento cobra importancia la construcción de la tabla de rutas del proyecto, ya que actualizando la duración de cada ruta, obtenemos el nuevo tiempo del proyecto:

# RUTA	ACTIVIDADES QUE LA CONFORMAN	TIEMPO RUTA (DÍAS)	¿ES RUTA CRÍTICA?
1	A D G	13	SÍ
2	B E	8	NO
3	C F	3	NO
Duración del proyecto		17	

Rutas del proyecto – primera iteración

SEGUNDA ITERACIÓN

Las actividades que pertenecen a la ruta crítica son A, D, y G. Sin embargo, la ruta G ya ha sido acelerada hasta alcanzar el límite de $T_c = 2$ semanas, por lo que solo tenemos como opciones a la actividad A con un costo marginal de \$ 1200/semana, y a la actividad G con un costo marginal de \$ 166.67/semana.

Por lo tanto, nuestra decisión es reducir la actividad G al máximo, teniendo en cuenta las restricciones:

- G no puede reducirse más de 6 semanas (el valor de ΔT).
- La ruta a la que pertenece G no puede reducirse más de $13-8=5$ semanas, ya que en este punto, la ruta #1 "alcanzaría" a la ruta #2 en su duración, y las 2 se convertirían en rutas críticas con una duración de 8 semanas.



SEGUNDA DECISIÓN: REDUCIR LA ACTIVIDAD G EN 5 SEMANAS, CON UN SOBRECOSTO ADICIONAL DE \$ 166.67/SEMANA.

Ahora, verificamos que este sobrecosto es inferior al beneficio de \$ 1250/semana por acelerar la entrega del proyecto. Se acepta la segunda decisión de reducir G en 5 semanas.

Al actualizar el proyecto, obtenemos los nuevos tiempos de rutas y actividades:

ACTIVIDAD	T _N	C _N	T _C	C _C	ΔC	ΔT	C _m	TIEMPO A REDUCIR	TIEMPO REAL ACTIVIDAD
A	4	2000	3	3200	1200	1	1200		4
B	2	4000	1	5400	1400	1	1400		2
C	1	600	1	600	0	0	-		1
D	6	2600	2	3200	600	4	150	4	2
E	6	1700	2	2000	300	4	75		6
F	2	8000	1	10000	2000	1	2000		2
G	7	3000	1	4000	1000	6	166.67	5	2

Costo base **21900**

Costo adicional

1433.33

Tiempos de cada actividad – segunda iteración



Note que ahora tenemos 2 rutas críticas, y ambas son importantes a la hora de reducir el tiempo del proyecto.

# RUTA	ACTIVIDADES QUE LA CONFORMAN	TIEMPO RUTA (DÍAS)	¿ES RUTA CRÍTICA?
1	A D G	8	SÍ
2	B E	8	SÍ
3	C F	3	NO
Duración del proyecto		8	

Rutas del proyecto - segunda iteración

Entonces, en la segunda iteración, tenemos una duración del proyecto de 8 semanas, con un costo total de \$ 21 900+\$ 1433.33= \$23 333.



TERCERA ITERACIÓN

RUTA CRÍTICA 1: La única actividad que aún se puede reducir es A, con un costo marginal de \$ 1200/semana. A solo puede reducirse en 1 semana.

RUTA CRÍTICA 2: La ruta crítica 2 tiene a las actividades B y E, con costos marginales de \$ 1400/semana y \$ 75/semana, respectivamente. Por lo tanto, se reduciría la actividad E hasta en 4 semanas.

Como ambas decisiones se hacen en simultáneo, la actividad A limita la reducción de la actividad E a 1 semana únicamente.

Decisión 3: Reducir las actividades A y E en 1 semana, con un costo por semana de \$ 1200 + \$ 75 = \$ 1275/semana.

Al validar esta decisión, notamos que el sobrecosto por semana no se justifica frente al beneficio semanal por acelerar el proyecto. No se justifica pagar \$ 1275/semana para recibir a cambio \$ 1250/semana.

SE RECHAZA LA DECISIÓN 3. EL PROBLEMA TERMINA CON UN TIEMPO ÓPTIMO DE 8 SEMANAS (VER ITERACIÓN 2), Y CON UN COSTO TOTAL DE \$ 23 333.

Al comparar el proyecto sin comprimir versus el proyecto comprimido, se aprecian los beneficios netos obtenidos en el proceso de optimización:

	PROYECTO SIN COMPRIMIR	PROYECTO COMPRIMIDO (OPTIMIZADO)
Costo base	\$21 900	\$21 900
Tiempo de ejecución (semanas)	17	8
Días comprimidos en la entrega del proyecto	0	9
Beneficio adicional obtenido	\$0	\$ 11 250.0
Sobrecosto por compresión	\$0	\$ 1433.33
Beneficio neto obtenido	\$0	\$ 9816.67

(págs. 4-5).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Politécnico Grancolombiano. CPM y el uso intensivo de recursos_rev_HDC [Repositorio Digital]. Bogotá, Colombia: Library Red Ilumno. [fecha de publicación: 12 febrero 2014]. [fecha de consulta: 22 julio 2014]. Base de datos disponible en Library Red Ilumno.

Calculo de costos marginales de compresión en CPM [Repositorio Digital]. Bogotá, Colombia: Library Red Ilumno. [fecha de publicación: 12 febrero 2014]. [fecha de consulta: 22 julio 2014]. Base de datos disponible en Library Red Ilumno.



The logo for ILUMNO, featuring the word in white uppercase letters on an orange rectangular background. The background of the entire page is a dark blue geometric pattern of overlapping triangles, with a large, semi-transparent dark blue circle centered in the middle.

ILUMNO