

01-011

Critical chain: Sizing the project buffers

Elena Vázquez García; Carlos Amiama Ares; Martín Barrasa Rioja

Universidad de Santiago de Compostela

Critical Chain Project Management (CCPM) is an analytical procedure of project management based on the search for those mechanisms that allow to manage the uncertainty of a project reducing its duration, with greater confidence in the completion date, less chaos and a re-planning of deadlines.

Defined by Goldratt in 1997, this methodology establishes that the tasks should be stripped of their individual protection to focus this safety in certain key points of the project (Steyn, 2001), taking on consideration the calculation of buffer size as one of the main challenges of using the CCPM.

Unfortunately, Goldratt gave little guidance on buffers sizing (Hoel & Taylor, 1990), so setting up general rules for size estimation has become one of the most delicate points of planning.

The objective of this article is to analyze the empirical techniques most used for the calculation of the size of the buffers of the projects, studying the pros and cons of each one of them from the comparison of the same ones by the study of an example case.

Keywords: Critical chain; buffer; planning; project management

Cadena crítica: dimensionamiento de los buffers del proyecto

El Método de la Cadena Crítica (CCPM) es un procedimiento analítico de gestión de proyectos basado en la búsqueda de aquellos mecanismos que permiten gestionar la incertidumbre de un proyecto reduciendo su duración, con una mayor confianza en la fecha de terminación, un menor caos y una replanificación de los plazos.

Definida por Goldratt en 1997, esta metodología establece que las tareas deben ser despojadas de su protección individual para concentrar esta seguridad en determinados puntos clave del proyecto (Steyn, 2001), considerándose la determinación de la longitud de los amortiguadores como uno de los principales desafíos de la utilización del CCPM.

Desafortunadamente, Goldratt dio poca orientación sobre el dimensionamiento de los buffers (Hoel & Taylor, 1990), por lo que el establecimiento de reglas generales para la estimación del tamaño de los mismos se ha convertido en uno de los puntos más delicados de la planificación.

El objetivo de este artículo es analizar las técnicas empíricas más utilizadas para el cálculo del tamaño de los buffers de los proyectos, estudiando los pros y contras de cada una de ellas a partir de la comparación de las mismas mediante el estudio de un caso ejemplo.

Palabras clave: Cadena crítica; buffer; planificación; gestión de proyectos

Correspondencia: carlos.amiama@usc.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

A diferencia de los procedimientos tradicionales de planificación y gestión de proyectos que pretenden igualar la incertidumbre de los mismos a cero, el método de la Cadena Crítica, desarrollado por el Dr. Eliyahu M. Goldratt en 1997 tras la publicación de su libro *Critical Chain*, se aparta de este planteamiento al reconocer esta característica como una propiedad inherente (Navarro, 2005) a todo tipo de proyecto.

Critical Chain Project Management (CCPM) o Cadena Crítica es un procedimiento analítico de dirección de proyectos que trata de gestionar de forma correcta la incertidumbre de un proyecto desde su etapa de planificación, basándose en la aplicación de mecanismos que se apartan de la práctica habitual.

La metodología CCPM requiere que el cronograma se construya sólo con el tiempo estrictamente necesario para hacer cada una de las tareas, sin resguardos (Urso, 2005), eliminando sus protecciones individuales y concentrando esta seguridad en determinados puntos clave del proyecto (Steyn, 2001). De esta forma, las actividades quedan protegidas mediante una serie de amortiguadores que permiten defender la cadena crítica, dotándola de una mayor protección global y aumento de la confianza en la fecha de conclusión de la misma.

Desafortunadamente, Goldratt dio poca orientación sobre el dimensionamiento de estos buffers (Hoel & Taylor, 1990), por lo que el establecimiento de reglas generales para la estimación del tamaño de los mismos se ha convertido en uno de los puntos más delicados de la planificación.

2. Objetivos

Siguiendo la línea de investigación iniciada en estudios anteriores sobre la aplicación de la cadena crítica a proyectos de ingeniería civil (Vázquez, Amiama, & Barrasa, 2015) y (Vázquez, Amiama, & Barrasa, 2016), se pretende analizar las técnicas empíricas más utilizadas de dimensionamiento de buffers con el propósito de alcanzar los objetivos que se enumeran a continuación:

1. Revisar y extraer los principales métodos experimentales de medición de los buffers de proyecto y de alimentación para la correcta aplicación del CCPM.
2. Calcular el tamaño de los amortiguadores de un caso ejemplo empleando diferentes metodologías de dimensionamiento de los mismos.
3. Comprobar el comportamiento de los buffers durante la ejecución del caso de estudio.
4. Utilizar los resultados obtenidos para estudiar los pros y contras, de cada una de las metodologías empleadas, a partir de la comparación de las mismas.
5. Determinar qué técnicas son más adecuadas según el tipo de proyecto sobre el que sea necesario llevar a cabo un seguimiento y control, definiendo qué mecanismos permiten una mayor protección de la fecha de finalización de las obras y de su ejecución según lo planificado.

3. Metodología

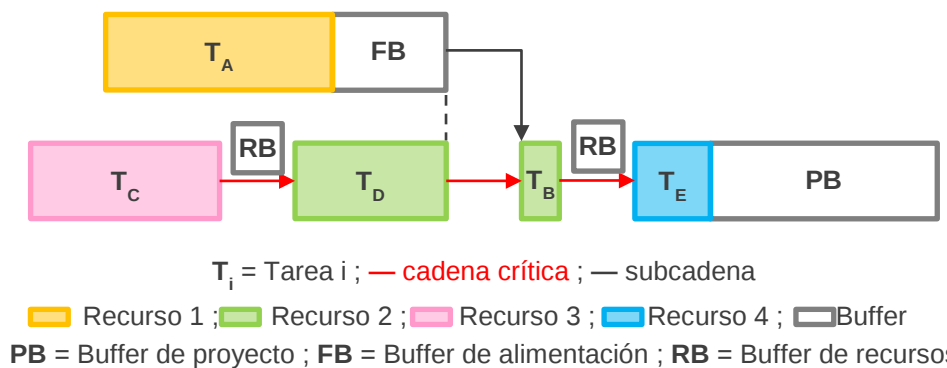
Existen varios términos empleados para referirse a los bloques de tiempo, utilizados para proteger la fecha de finalización de un proyecto de los efectos que provocan las variaciones y las desviaciones (Newbold, Budd, & Budd, 2010). Reserva de programación, margen horario, colchón de seguridad, tampón o amortiguador son utilizados indistintamente; sin embargo, en el argot de la Cadena Crítica, se denominan, de forma habitual, como *buffers*.

Estos amortiguadores temporales son insertados en puntos concretos del cronograma del proyecto con una duración determinada, actuando como actividades ficticias que se consumen automáticamente cuando ciertas actividades requieren más tiempo del previsto, absorbiendo los retrasos sin afectar a la fecha de terminación programada.

3.1. Tipos de buffers

Dentro de la metodología CCPM se han identificado tres tipos de buffers según la ubicación de los mismos dentro de la cadena crítica.

Figura 1. Distribución de los buffers



3.1.1. Buffer de proyecto

El buffer de proyecto o project buffer (PB) es el amortiguador más fácil de colocar ya que se sitúa al final de todo el proyecto determinando la fecha final de entrega del mismo (ver Figura 1).

El principal objetivo del PB es proteger el plazo de conclusión del proyecto frente a las fluctuaciones que puedan aparecer en las actividades que conforman la cadena crítica, aunque también se utiliza cuando las tareas de las subcadenas (o rutas de alimentación) consumen todo el buffer asignado únicamente a estas últimas.

3.1.2. Buffer de alimentación

Se denomina buffer de alimentación o feeding buffer (FB) al margen de tiempo que se coloca al término de cada subcadena (no crítica) que alimenta o desemboca en la cadena crítica (ver Figura 1).

Este amortiguador permite ejecutar las actividades pertenecientes a las subcadenas del proyecto antes de un determinado tiempo, que coincide con el inicio de una tarea de la cadena crítica, protegiendo, a esta última, de las desviaciones o alteraciones producidas en las rutas paralelas.

3.1.3. Buffer de recurso

El buffer de recurso o resource buffer (RB) es aquel que se añade al cronograma cuando un recurso participa en una tarea concreta de la cadena crítica y la actividad que le precede la realiza un recurso diferente (ver Figura 1).

El RB se utiliza como señal de advertencia anticipada de recursos, protegiendo al proyecto de las eventualidades que puedan producirse en el momento de la transferencia de una actividad a otra y garantizando que éstos estarán disponibles cuando sean requeridos por la cadena crítica.

Es importante destacar que, al actuar como un aviso, este tipo de buffer no cambia la duración del proyecto ni consume tiempo, por lo que no serán de estudio para el presente artículo ya que no es preciso medir la magnitud de los mismos al colocarse de manera escalonada en el tiempo según los acuerdos pactados y la complejidad de las actividades y del proyecto.

3.2. Tamaño de los Buffers

Los buffers pueden ser mucho más cortos que la suma de las contingencias individuales que reemplazan, acortando así el tiempo total de las cadenas (Urso, 2005).

Aunque Goldratt identificó la necesidad de colocar buffers de proyectos y de alimentación a lo largo de la programación de los proyectos como un factor clave para la aplicación del método de la cadena crítica no especificó qué directrices se deben seguir para determinar el tamaño de estos amortiguadores de tiempo, convirtiéndose el cálculo de la longitud de los mismos como uno de los principales retos de la utilización del CCPM.

Entre las técnicas empíricas más utilizadas para el cálculo del tamaño de los buffers PB y FB se pueden destacar:

1. El Método de "Cortar y Pegar".
2. El Método del "Tercio Crítico".
3. El Método de la "Raíz Cuadrada de la Suma de Cuadrados".

3.2.1. Método de Cortar y Pegar (CP)

A lo largo de los años se han propuesto distintas formas de calcular el tamaño de los buffers, sin embargo, el procedimiento denominado Cut & Paste (Cortar y Pegar), también conocido como la Ley del 50% y defendido por Goldratt en su libro *Critical Chain*, es el favorito para una gran mayoría de profesionales (Herroelen & Leus, 2001), (Leach, 2014), (Lynch, 2003), (Morillo, 2013), (Mattos & Valderrama, 2014).

Esta técnica permite definir el dimensionamiento de los amortiguadores mediante cuatro claras y sencillas etapas:

- 1ª. Estimar el tiempo de duración de la cadena o subcadenas.
- 2ª. Separar los tiempos de protección de las actividades.
- 3ª. Colocar los tiempos de protección al final de la cadena o subcadenas.
- 4ª. Reducir al 50% la longitud de la suma de dichos trozos.

Aunque normalmente utilizamos el porcentaje del 50% sugerido en el método, este número no debe de tomarse como un dato estricto, ya que los proyectos que presentan una menor variabilidad permiten ajustarse a proporciones menores mientras que los que tienen una mayor incertidumbre pueden emplear porcentajes mayores (Newbold, 2010).

Como norma general, para la aplicación de la técnica de “Cortar y Pegar” es conveniente seguir una serie de recomendaciones (López de Ávila, 2009):

- Ninguna actividad puede tener una longitud superior al 20% de la cadena crítica.
- La duración total asignada a los buffers no debe ser inferior al 25% del tamaño de la cadena crítica.

Fórmula de cálculo:

$$Buffer = 0,5 \sum_{i=1}^n (dcP_i - dsP_i) \quad (1)$$

donde:

- n : número de actividades pertenecientes a la Cadena Crítica o a las subcadenas.
- i : actividad.
- dcP_i : duración de la actividad i con protección.
- dsP_i : duración de la actividad i sin protección.

3.2.2. Método del Tercio Crítico (TC)

Una variación simplista de la Ley del 50% es el Método del Tercio Crítico cuya principal ventaja es la omisión de la duración de las protecciones de las tareas.

Este proceso se basa en los siguientes cuatro pasos:

- 1ª. Estimar el tiempo de duración de la cadena o subcadenas.
- 2ª. Eliminar los tiempos de protección de las actividades.
- 3ª. Calcular la longitud de la cadena crítica o subcadenas.
- 4ª. Colocar un tercio de la longitud obtenida como buffer de proyecto o de alimentación.

Fórmula de cálculo:

$$Buffer = \left(\sum_{i=1}^n dsP_i \right) / 3 \quad (2)$$

donde:

- n : número de actividades pertenecientes a la Cadena Crítica o a las subcadenas.
- i : actividad.
- dsP_i : duración de la actividad i sin protección.

3.2.3. El Método de la Raíz Cuadrada de la Suma de Cuadrados (ROOT)

Una de las alternativas más elaboradas es el Root Square Error Method (Vanhoucke, 2012), conocido en castellano como Método de la Raíz Cuadrada de la Suma de Cuadrados o Fórmula de Newbold (Newbold, 1998), (Morillo, 2013).

En lugar de utilizar una regla empírica simple para el cálculo del tamaño de los buffers, este procedimiento tiene en cuenta la variación (σ) conocida en la duración de las

actividades, teniendo en cuenta que la duración de la actividad con protección (estimación de la actividad de bajo riesgo) menos la duración de la actividad sin protección (probabilidad agresiva de duración de la tarea) es aproximadamente dos veces la desviación (2σ), por aplicación del Teorema Central del Límite (Iglesias, 2005).

Este procedimiento propone calcular la duración de los buffers como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los márgenes de seguridad de todas las actividades (Barato, 2014), (Cohn, 2005).

Fórmula de cálculo:

$$Buffer = \sqrt{\sum_{i=1}^n (dcP_i - dsP_i)^2} \quad (3)$$

donde:

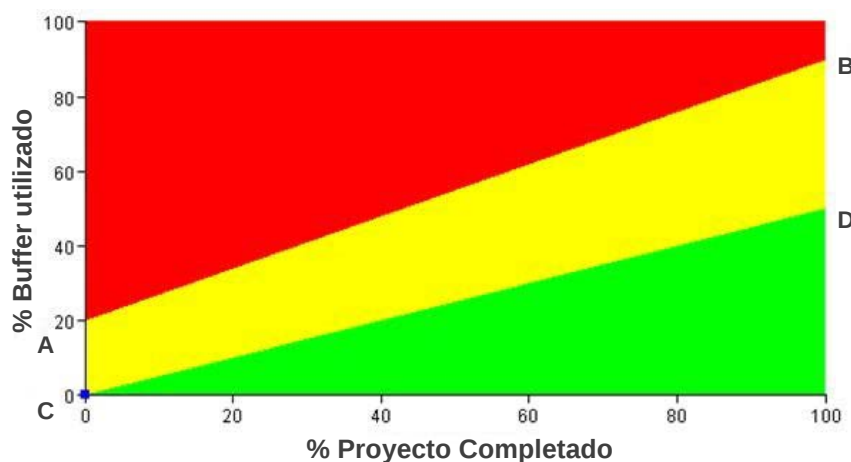
- n : número de actividades pertenecientes a la Cadena Crítica o a las subcadenas.
- i : actividad.
- dcP_i : duración de la actividad i con protección.
- dsP_i : duración de la actividad i sin protección.

3.3. Seguimiento

El control del proyecto que se realiza con el método de la cadena crítica es un proceso focalizado y sencillo (Navarro, 2006), donde lo que realmente importa es el grado de consumo de los buffers y el grado de avance de las cadenas que amortiguan (Rivera & Durán, 2003).

Las hojas de control denominadas Fever Chart (representada en la Figura 2) son empleadas durante la etapa de seguimiento y gestión de los proyectos ejecutados bajo los términos de la CCPM, facilitando la lectura del estado de los proyectos y centrando los esfuerzos en gestionar únicamente los amortiguadores previamente dimensionados.

Figura 2. Fever Chart (Newbold, 2011)



Dentro de estas tablas, la dimensión horizontal representa el grado de desempeño del proyecto, definiendo de izquierda a derecha el avance del mismo (del 0% al 100%

respectivamente) y el eje vertical corresponde al porcentaje de buffer de proyecto que se ha consumido, entendiendo la línea superior como la ausencia de amortiguador (100% utilizado).

Las diferentes regiones serán definidas según el tipo de seguimiento y atención que se desee realizar sobre el proyecto, de forma que según la zona en la que se encuentre el punto de control (zonas roja, amarilla o verde) se tome la acción más adecuada (medidas de rescate, proactivas o de atención, respectivamente).

4. Caso práctico

Para la elaboración del estudio práctico se ha realizado un extracto de una obra de ingeniería civil de mayor envergadura, empleando los datos reales de planificación, ejecución y seguimiento de la misma.

4.1. Planificación

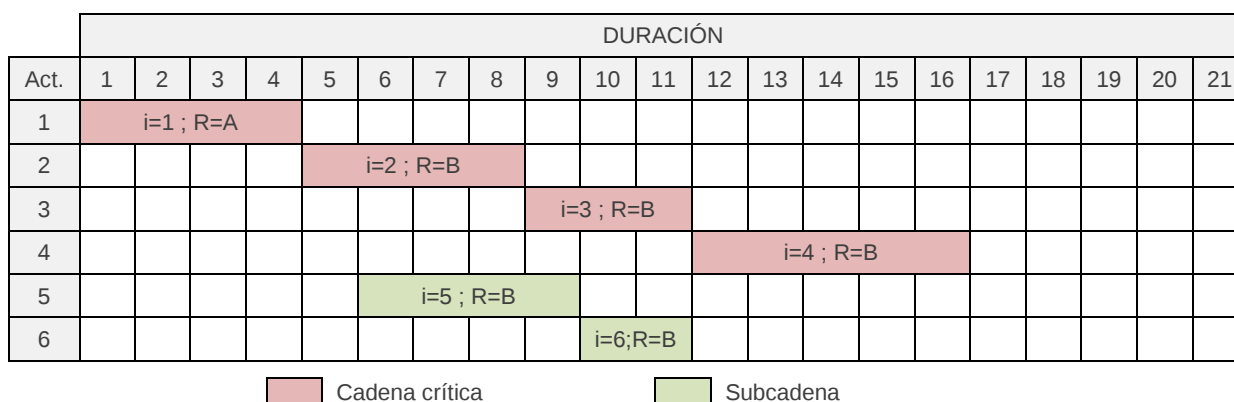
En la Tabla 1 se presentan los datos necesarios para la construcción del cronograma de proyecto que se muestra en la Figura 3:

Tabla 1. Datos caso práctico

ACTIVIDAD (i)	PREDECESORA	RECURSOS (R)	DURACIÓN CON PROTECCIÓN (d_{cPi})	DURACIÓN SIN PROTECCIÓN (d_{sPi})
1	-	Cuadrilla A	6	4
2	1FS	Cuadrilla B	7	4
3	1FS	Cuadrilla B	5	3
4	2FS; 3FS; 6FS	Cuadrilla B	6	5
5	-	Cuadrilla C	5	4
6	5FS	Cuadrilla C	3	2

* FS: relación de precedencia Final-Inicio.

Figura 3. Cronograma del proyecto tras la nivelación de recursos y la incursión de las duraciones reales.



De la Figura 3 se puede identificar las actividades pertenecientes a la cadena crítica, así como a la subcadena existente:

- Actividades de la cadena crítica: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$
- Actividades de la subcadena: $5 \rightarrow 6$

Con el objetivo de examinar cada uno de los métodos de dimensionamiento de buffers identificados en apartados anteriores, se han determinado el tamaño de los mismos para el caso de análisis mediante el empleo de las ecuaciones 1, 2 y 3.

Tabla 2. Duración de PB y FB con las diferentes metodologías de dimensionamiento.

METODOLOGÍA DE DIMENSIONAMIENTO DE BUFFERS	DURACIÓN PB (días)	DURACIÓN FB (días)
Método de "Cortar y Pegar" (CP)	4,00	1,00
Método del Tercio Crítico (TC)	5,33	2,00
Método de la Raíz Cuadrada de la Suma de Cuadrados (ROOT)	4,24	1,41

Calculadas las duraciones reales de las actividades y el tamaño de los buffers, se han diseñado los cronogramas de la obra que se presentan en la Figura 4, Figura 5 y Figura 6 en función del tipo de método de cálculo de la longitud de los amortiguadores empleado:

Figura 4. Cronograma de la obra mediante la aplicación del método CP.

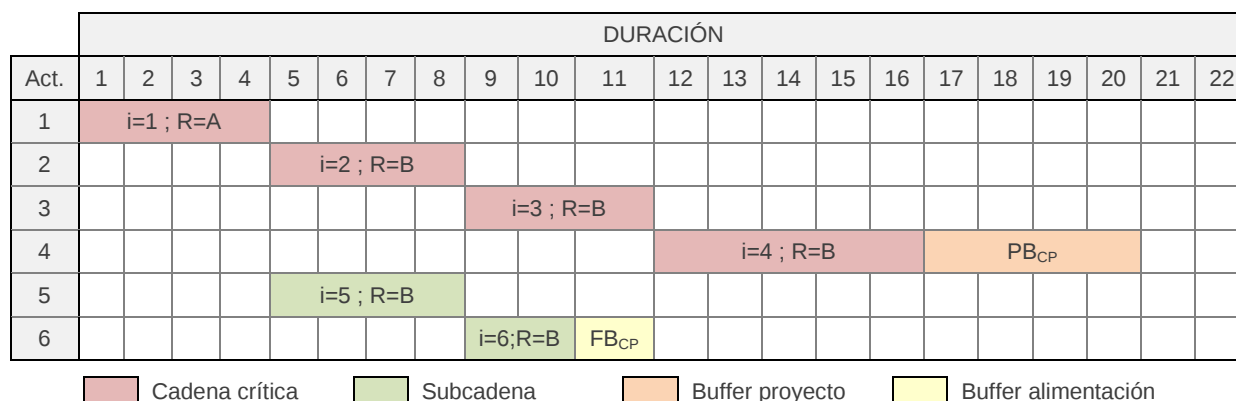


Figura 5. Cronograma de la obra mediante la aplicación del método TC.

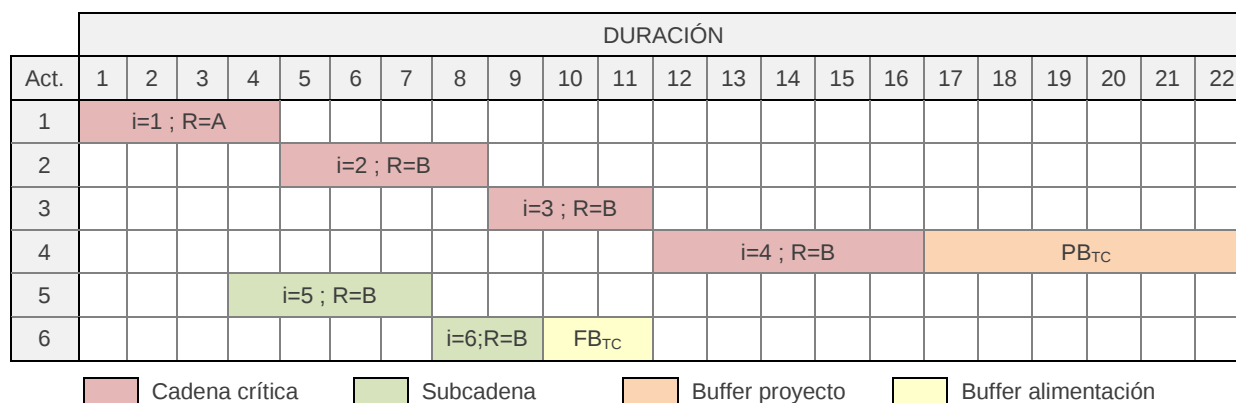
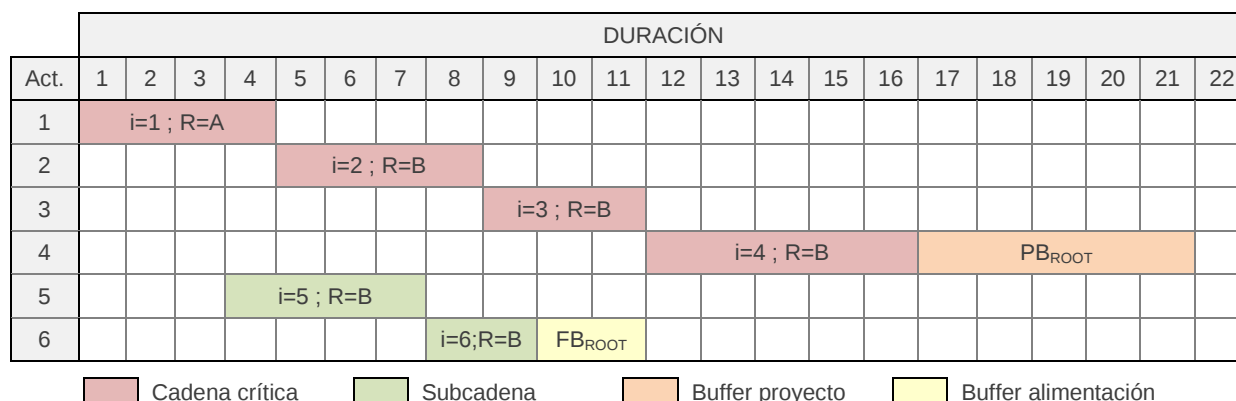


Figura 6. Cronograma de la obra mediante la aplicación del método ROOT.

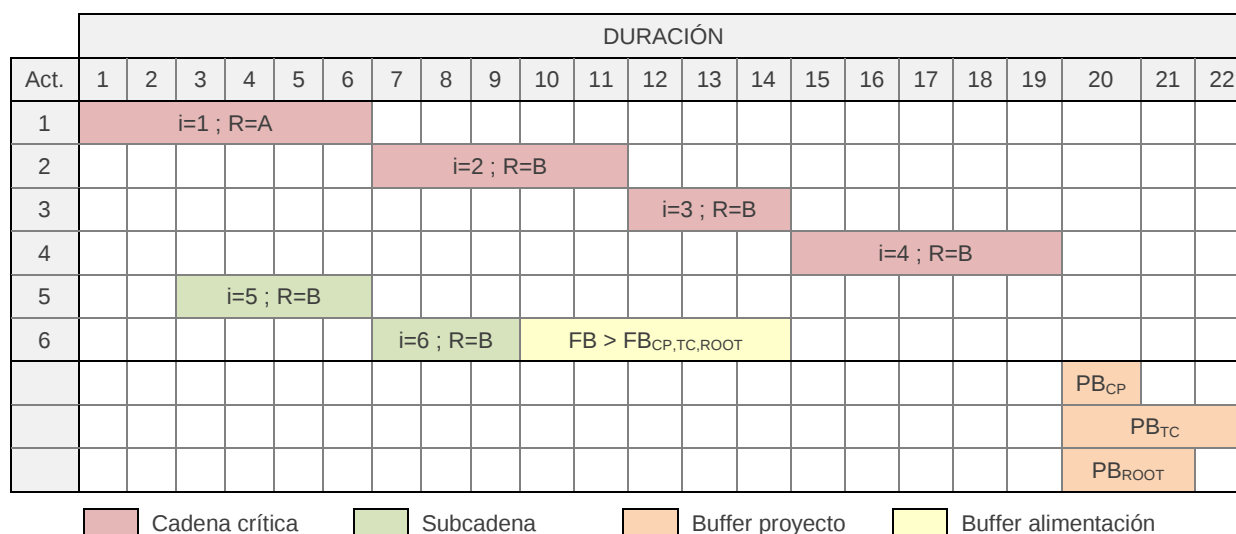


4.2. Ejecución

Puesto que las obras de construcción son elementos formados por una gran incertidumbre, las modificaciones y variaciones a lo largo de su ejecución son bastante frecuentes.

En la Figura 7 se expone la ejecución real de la obra para las diferentes actividades de proyecto, el consumo de los buffers calculados y los recursos finalmente empleados:

Figura 7. Ejecución de la obra aplicando CCPM.



De los resultados obtenidos se puede deducir que:

- Las actividades 1, 2 y 6 consumieron más tiempo del inicialmente programado, mientras que el resto de las actividades emplearon la duración prevista.
- El inicio temprano de la subcadena y la prolongación de la duración de las actividades pertenecientes a la cadena crítica, previas a la tarea que alimentaba la subcadena, produjo un aumento del buffer de alimentación calculado.
- Atendiendo al cronograma proyectado tras el dimensionamiento de los amortiguadores la obra consumió 3 días de los destinados al buffer de proyecto, de tal forma que el proyecto finalizó antes de las fechas estimadas:

- o 1 día antes con el método de “Cortar y Pegar”.
- o 2,33 días antes con el método del “Tercio Crítico”.
- o 1,24 días antes con el método de “Raíz Cuadrada de la Suma de Cuadrados”.
- La obra se ejecutó en 19 días, lo que supone una reducción de su duración con respecto al cronograma original de proyecto (donde se estimaba un tiempo de ejecución de 24 días) de casi el 21%.

4.2. Seguimiento y control

El empleo de las técnicas de la Cadena Crítica para el seguimiento de los proyectos es una de las principales fortalezas de dicha metodología, al permitir monitorizar los buffers mediante un proceso sencillo a través de la realización de los denominados Fever Chart. Estas hojas de control posibilitan conocer el grado de consumo de los buffers (%CB) y el grado de avance del proyecto gracias a una rápida visual.

En la Figura 8, Figura 9 y Figura 10, se muestran las diferentes Fever Chart empleadas durante el seguimiento del proyecto según el tipo de método de dimensionamiento de buffers definidos con anterioridad, con el objetivo de comprender, de forma gráfica, el análisis realizado en el punto 4.1. del presente artículo.

Figura 8. Fever Chart del seguimiento del cronograma diseñado con el método CP.

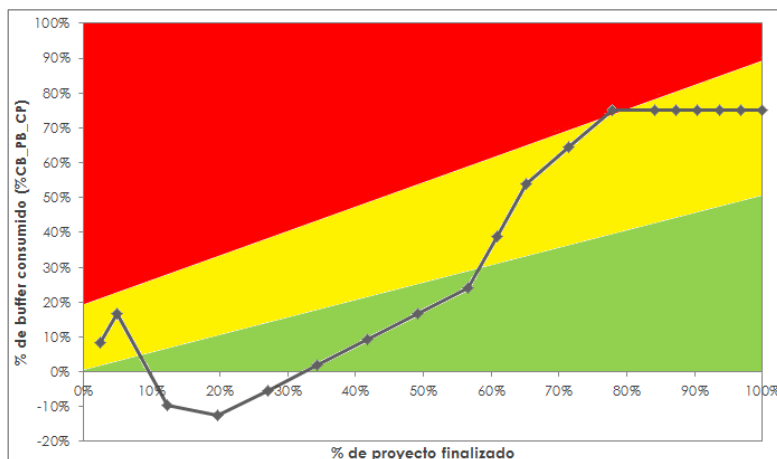


Figura 9. Fever Chart del seguimiento del cronograma diseñado con el método TC.

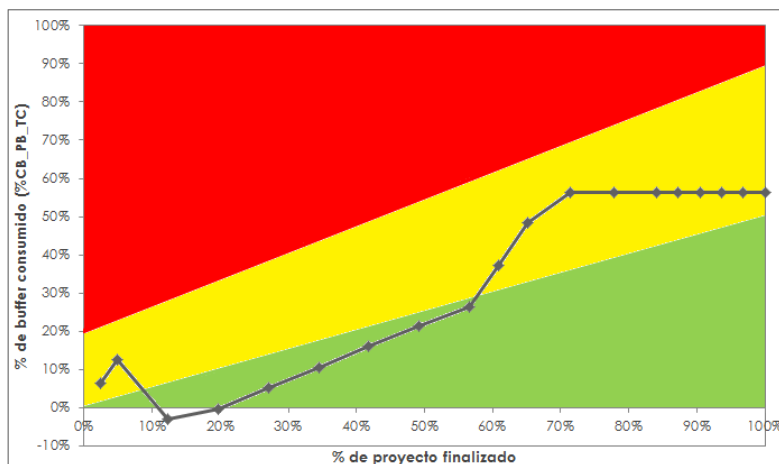
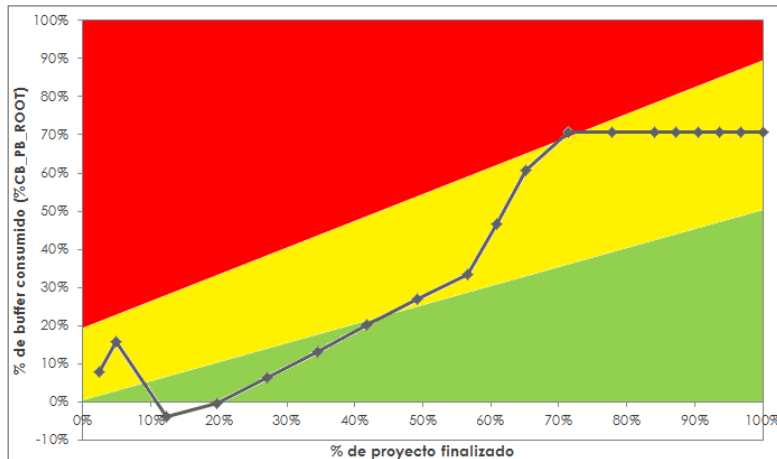


Figura 10. Fever Chart del seguimiento del cronograma diseñado con el método ROOT.



Las diferentes regiones que conforman las Fever Chart se han diseñado para un mayor control de la obra, tanto al inicio como al final de la misma.

6. Conclusiones

La utilización de la metodología de la Cadena Crítica supone una mejora con respecto a los sistemas tradicionales de planificación, seguimiento y control, permitiendo una reducción de los plazos con un aumento de la probabilidad de finalización de los proyectos en la fecha prevista, al realizar una distribución efectiva de las protecciones necesarias para hacer frente a la incertidumbre asociada a las obras de ingeniería.

Aunque no existe un método preestablecido de sencilla aplicación para el cálculo de la duración de las reservas de programación que funcione perfectamente para cualquier tipo de sector o para cada proyecto, es preciso tener en cuenta los requisitos, ventajas e inconvenientes de las distintas técnicas de dimensionamiento (ver Tabla 3 y Tabla 4) para la elección de la más adecuada o de la que mejor se adapte a las necesidades de la obra.

Tabla 3. Resumen de requisitos, ventajas e inconvenientes de los distintos métodos de dimensionamiento de buffers. (Parte 1)

MÉTODO CORTAR Y PEGAR (CP)	REQUISITOS	– La duración total asignada a los buffers no debe ser inferior al 25% del tamaño de la cadena crítica. – Es necesario conocer tanto la duración con protección como sin protección de la actividad.
	PROS	– Se caracteriza por su facilidad y comodidad práctica. – Facilidad de adaptación a todo tipo de proyecto ya que, aunque normalmente se utiliza el porcentaje del 50% sugerido en el método, el procedimiento de cálculo puede irse rectificando en base a la experiencia de la aplicación del método, empleando proporciones menores para proyectos con menor variabilidad y porcentajes mayores para los que presentan una mayor incertidumbre.
	CONTRAS	– La necesidad de disponer de una primera planificación sobredimensionada para el cálculo de los buffers hace que sea un método inviable para aquellos proyectos que se pretenden planificar desde origen implementando CCPM, ya que la determinación de dos cronogramas distintos (uno con protección y otro sin protección) disminuye su sencillez de aplicación.

Tabla 4. Resumen de requisitos, ventajas e inconvenientes de los distintos métodos de dimensionamiento de buffers. (Parte 2)

MÉTODO TERCIO CRÍTICO (TC)	REQUISITOS	– Precisa conocer de la forma más exacta posible la duración sin protección de cada una de las actividades del proyecto.
	PROS	– Al sólo ser necesario calcular el tiempo de ejecución que se requiere para cada actividad sin ningún tipo de holgura resulta un método muy útil para aquellos proyectos que se planifican desde el origen implementando CCPM. – Puesto que de su cálculo se obtiene un buffer del 33% de la duración total de la cadena crítica, este método funciona muy bien para aquellos proyectos que presentan un alto grado de variabilidad.
	CONTRAS	– Al ser un algoritmo lineal, la dimensión de los márgenes de seguridad añadidos dependen del tamaño de la cadena de tareas, por lo que en proyectos de gran duración, se obtendrían, buffers probablemente excesivos.
MÉTODO RAIZ CUADRADA DE LA SUMA DE CUADRADOS (ROOT)	REQUISITOS	– El buffer resultante no debe ser inferior al 25% de la duración total de la cadena crítica. – Para la utilización de esta técnica es necesario disponer de los datos de duración de las tareas del proyecto con protección y sin ella.
	PROS	– Este método funciona muy bien para aquellos proyectos que presentan bajas incertidumbres o menor probabilidad de variaciones.
	CONTRAS	– Puede conducir a buffers de tamaño menor al deseado para aquellas cadenas que sean largas. – No es un método práctico para aquellos proyectos que pretendan aplicar el CCPM desde el inicio de su programación, al tener que estimar dos cronogramas distintos (uno con protección y otro sin protección).

Por todo lo expuesto a lo largo de este artículo, se puede concluir que la fijación de las métricas de dimensionamiento de buffers que se deben utilizar es una cuestión de juicio personal, donde la planificación, la experiencia, el tipo de proyecto, la comparación con casos similares, el grado de incertidumbre y la utilización coherente de las técnicas del CCPM son las claves para una implementación exitosa.

7. Bibliografía

- Barato, J. (2 de Noviembre de 2014). Cálculo del Buffer de Proyecto. *Blog Los Hábitos de un Director de Proyectos Eficaz*. Publicado en <http://jose-barato.blogspot.com.es/>.
- Cohn, M. (2005). *Agile Estimating and Planning*. New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Goldratt, E. M. (2001). *Cadena Crítica: una novela empresarial sobre la gestión de proyectos*. Madrid: Díaz de Santos, D.L.
- Herroelen, W., & Leus, R. (Octubre de 2001). On the merits and pitfalls of critical chain scheduling. *Journal of Operations Management*, 19(5), 559-577. Elsevier Science B.V. doi:10.1016/S0272-6963(01)00054-7.
- Hoel, K., & Taylor, S. G. (1990). Quantifying buffers for project schedules. *Production and Inventory Management Journal: Journal of the American Production and Inventory Control Society, Inc.*, 40(2), 43-47. Washington DC, Estados Unidos: ProQuest Central.
- Iglesias Sánchez, J. L. (Junio de 2005). "Gestión de proyectos (III): Los buffer del proyecto". *Partida Doble*(167), 76-85. Disponible en <http://www.partidadoble.es/>.

- Leach, P. L. (2014). *Critical Chain Project Management* (3^a ed.). Boston, Massachusetts, Estados Unidos: Artech House.
- López de Ávila Muñoz, M. (16 de Septiembre de 2009). Critical Chain <in a nutshell>. *Blog Nodos en la Red*. Publicado en <http://nodos.typepad.com/>.
- Lynch, B. (Marzo de 2003). Critical Chain Project Management: Coming to a Radar Screen Near You! *Cutter IT Journal: The Journal of Information Technology Management*, 16(3), 37. Disponible en <http://www.cutter.com/>.
- Mattos, A. D., & González Fernández de Valderrama, F. (2014). *Métodos de Planificación y Control de Obras: del diagrama de barras al BIM*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Morillo, P. (24 de Abril de 2013). Camino Crítico y Cadena Crítica. *Canal del Executive Master in Project Management de la Universidad de Valencia (España)*. Youtube(Archivo de Vídeo). Video publicado en: <https://youtu.be/ljeWqZTYlME>.
- Navarro, D. (1 de Septiembre de 2005). Todo es cuestión de incertidumbre. *Blog Dirección de Proyectos*. Publicado en <http://direccion-proyectos.blogspot.com.es/>.
- Navarro, D. (12 de Mayo de 2006). Gestión de Proyectos. Método de la Cadena Crítica. *Blog Dirección de Proyectos*. Publicado en <http://direccion-proyectos.blogspot.com.es/>.
- Newbold, R. C. (1998). *Project Management in The Fast Lane: applying the Theory of Constraints*. London: CRC Press.
- Newbold, R. C. (29 de Septiembre de 2010). Scheduling for Success with Critical Chain. *ProChain Solutions Inc. Resource Center*. Publicado en <http://www.prochain.com/>.
- Newbold, R. C. (16 de Octubre de 2011). Fever Chart Regions. *Blog ProChain*. ProChain Solutions, Inc. Publicado en http://prochain.com/prochain_blog/.
- Newbold, R. C., Budd, C. S., & Budd, C. I. (26 de Abril de 2010). Protecting Earned Value Schedules with Schedule Margin. *ProChain Solutions Inc. Resource Center*. Publicado en <http://www.prochain.com/>.
- Rivera, F. A., & Durán, A. (Diciembre de 2003). Una reflexión sobre los fundamentos y la aplicabilidad de cadena crítica en proyectos de ingeniería. *Dyna*, 78(9), 10-13.
- Steyn, H. (Agosto de 2001). An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling. *International Journal of Project Management*, 19(6), 363-369. Elsevier Science Ltd. doi:10.1016/S0263-7863(00)00026-0.
- Urso, C. (2005). Planificación del Tiempo. Utilizando Cadena Crítica y Buffer Management (Administración de Buffers). *PM Value*. Disponible en <http://www.pmvalue.com.ar/>.
- Vanhoucke, M. (17 de Abril de 2012). Sizing CC/BM buffers: The root squered error method. *PM Knowledge Center*. Publicado en <http://www.pmknowledgecenter.com/>.
- Vázquez García, E., Amiama Ares, C., & Barrasa Rioja, M. (2015). Aproximación a la aplicación del método de la cadena crítica a proyectos de obra civil. *XIX Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos* (págs. 0147-0158). Granada, 15-16 de Julio de 2015: AEIPRO.
- Vázquez García, E., Amiama Ares, C., & Barrasa Rioja, M. (2016). Aplicación práctica del método de la cadena crítica a un proyecto de ingeniería civil. *XX Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos* (págs. 0460-0470). Cartagena, 13-15 de Julio de 2016: AEIPRO.