

OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES EN DISTRIBUIDORA MEDIANTE PERT/CPM PARA DETERMINAR ACTIVIDADES CRÍTICAS

OPTIMIZATION OF DISTRIBUTOR OPERATIONS USING PERT/CPM TO DETERMINE CRITICAL ACTIVITIES

Alejandra Massiel Morán Montenegro

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Lic. en Ingeniería Industrial, Auditoría y Gestión de Procesos, Panamá.

alejandra.moran03@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-5531-0984>

Jhonny Alexander Dávila González

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Lic. en Ingeniería Industrial, Auditoría y Gestión de Procesos, Panamá.

jhonny.davila@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-0940-2703>

Julio Trujillo González

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Matemática, Panamá.

julio.trujillo@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-3664-8058>

Fecha de recepción: 17 de agosto de 2023

Fecha de aceptación: 19 de octubre de 2023

DOI <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v26n1.a4656>

RESUMEN

En un entorno empresarial dinámico y competitivo, la gestión eficiente de proyectos y operaciones es crucial para el éxito sostenible. El análisis PERT (Program Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path Method) han emergido como herramientas poderosas para optimizar operaciones y procesos. Estos métodos permiten una planificación estratégica precisa al identificar rutas críticas, tiempos de operación y recursos clave. En este artículo, exploramos la aplicación de PERT/CPM en una distribuidora en Panamá para abordar la falta de visibilidad sobre las áreas de mejora en sus operaciones. Mediante la recopilación de datos y la creación de un diagrama de precedencia, se estableció una representación gráfica de las operaciones. La aplicación de PERT/CPM identifica la ruta crítica y las operaciones clave que afectan la duración total del proceso. Con esta información, se logró un diseño

estratégico para reducir los días de operación y mejorar la eficiencia. Además, se ilustra cómo estos resultados se tradujeron en un diagrama de Gantt, que visualiza la planificación de actividades a lo largo del tiempo. La metodología PERT/CPM no solo revela áreas de enfoque, sino que también proporciona una base sólida para decisiones informadas y optimización continua. En última instancia, esta aplicación demuestra cómo el análisis PERT/CPM se convierte en un recurso valioso para impulsar la eficiencia operativa y el rendimiento en proyectos empresariales.

PALABRAS CLAVES

PERT, CPM, Recolección de datos, Análisis de datos, implementar.

ABSTRACT

In a dynamic and competitive business environment, efficient project and operations management is crucial for sustainable success. The PERT (Program Evaluation and Review Technique) and CPM (Critical Path Method) analyses have emerged as powerful tools for optimizing operations and processes. These methods enable precise strategic planning by identifying critical paths, operation times, and key resources. In this article, we delve into the application of PERT/CPM in a distributor in Panama to address the lack of visibility into areas for operational improvement. Through data collection and the creation of a precedence diagram, a graphical representation of operations was established. The application of PERT/CPM identifies the critical path and key operations impacting the total process duration. With this information, a strategic design was achieved to reduce operation days and enhance efficiency. Additionally, it illustrates how these results were translated into a Gantt chart, visualizing activity planning over time. The PERT/CPM methodology not only reveals areas of focus but also provides a solid foundation for informed decisions and ongoing optimization. Ultimately, this application showcases how PERT/CPM analysis becomes a valuable resource for driving operational efficiency and performance in business projects.

KEY WORDS

PERT, CPM, data collection, data analysis, implement.

INTRODUCCIÓN

La gestión y ejecución de proyectos es una tarea compleja que requiere una planificación meticulosa y una coordinación efectiva. Un proyecto se define como un esfuerzo planificado y coordinado con un objetivo específico, un alcance claramente definido y un conjunto de recursos y actividades destinados a lograr un resultado deseado dentro de parámetros establecidos, como tiempo, costo y calidad. En palabras de Nassir Sapag Chain (2011), "un proyecto es, ni más ni menos, la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre tantos, una necesidad humana" (p.1).

La administración de proyectos se centra en la organización y dirección de recursos para alcanzar los objetivos del proyecto. Según Galán (2022), "La administración de proyectos es la metodología mediante la cual es posible emplear, de manera eficiente, los recursos con los que cuenta un determinado proyecto". Para lograr esto, se emplean diversas técnicas y modelos, entre los que destacan el enfoque de revisión y evaluación de proyectos (PERT) y el método de la ruta crítica (CPM). Recientes estudios, como el de Kenar et al. (2023), han aplicado variantes del método PERT, como el Fuzzy PERT, en la planificación de proyectos de construcción, demostrando su eficacia en la gestión del tiempo. Por otro lado, Danfulani et al. (2023) destacan la importancia del método CPM en la programación óptima de proyectos de construcción.

Este artículo se adentrará en un caso de estudio específico en una distribuidora de la ciudad de Panamá. Esta distribuidora enfrenta desafíos que serán abordados utilizando la metodología CPM/PERT, con el objetivo de establecer criterios esenciales para la toma de decisiones y la planificación estratégica. Para llevar a cabo este proyecto, se utilizaron dos aplicaciones clave: POM QM y Excel QM.

Antecedentes

El método PERT (Program Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path Method) son enfoques ampliamente utilizados en la gestión de proyectos. PERT, desarrollado por la Marina de los Estados Unidos en la década de 1950, se enfoca en manejar proyectos complejos y de alta incertidumbre al analizar múltiples rutas de tiempo posibles y asignar probabilidades a las estimaciones de duración. Por otro lado, CPM, desarrollado en paralelo por la compañía DuPont, se centra en proyectos con actividades bien definidas y tiempos determinísticos.

Ambos métodos comparten la idea fundamental de representar las actividades del proyecto como nodos en un gráfico, conectados por flechas que indican el flujo secuencial. Esto permite identificar la ruta crítica, que es la secuencia de actividades que determina la duración total del proyecto. Cualquier retraso en la ruta crítica afecta el tiempo de finalización del proyecto en su conjunto.

PERT destaca por su capacidad para manejar incertidumbre mediante la asignación de tres estimaciones de tiempo para cada actividad: optimista, más probable y pesimista. Utilizando una fórmula de cálculo basada en estas estimaciones, PERT calcula un tiempo esperado para cada actividad y para el proyecto en su conjunto, junto con una medida de variabilidad.

En contraste, CPM se basa en tiempos deterministas y busca la ruta más corta a través

del proyecto. Las estimaciones de duración se conocen con precisión y se usan para calcular los tiempos tempranos y tardíos de cada actividad, lo que permite identificar la ruta crítica y la holgura de las actividades no críticas.

Ambos métodos ofrecen ventajas únicas: PERT es valioso para proyectos inciertos, mientras que CPM es más adecuado para proyectos con plazos estrictos y actividades bien definidas. La combinación de ambas técnicas, conocida como PERT/CPM, ofrece un enfoque completo para la gestión de proyectos al considerar tanto la incertidumbre como los plazos determinísticos.

Descripción del problema y modelo matemático

En el entorno empresarial actual, la eficiencia operativa y la optimización de procesos son fundamentales para mantener la competitividad y maximizar la productividad. En este contexto, nos encontramos con una empresa que ha estado ejecutando sus operaciones sin la implementación formal de técnicas de gestión de proyectos como CPM (Critical Path Method, Método de la Ruta Crítica) o PERT (Program Evaluation and Review Technique, Técnica de Evaluación y Revisión de Programas). Aunque los procesos se han establecido y se han mantenido en funcionamiento, existe una falta de visibilidad sobre cuáles son las rutas críticas en la ejecución de estas operaciones. Sin estos datos, es mucho menos seguro encontrar la operación que se desee mejorar y que esté dentro de la ruta crítica, creando una situación en la que la empresa al tomar decisiones aleatorias con respecto a las operaciones, no están sacando el adecuado rendimiento ni se mejoran los días de producción de las diferentes operaciones.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la ruta crítica de las operaciones de la empresa para identificar áreas clave que requieren enfoques específicos para la reducción de los días de operación. Se busca lograr una mayor eficiencia y agilidad en los procesos, minimizando los tiempos de ejecución y maximizando la utilización de los recursos disponibles.

El problema planteado se puede desglosar de la siguiente manera:

Falta de Ruta Crítica Identificada: Aunque la empresa ha estado operando, no se ha realizado un análisis detallado para determinar cuáles son las operaciones cruciales que afectan directamente la duración total del proceso. Esto lleva a la falta de conocimiento sobre las áreas específicas que requieren mejoras para acelerar la ejecución general.

Eficiencia y Tiempo de Operación: La eficiencia y el tiempo de operación son vitales en un mercado dinámico y competitivo. La falta de una ruta crítica identificada dificulta

la toma de decisiones informadas sobre cómo y dónde enfocar los esfuerzos para reducir los tiempos y mejorar la eficiencia.

Necesidad de Reducción de Días de Operación: La reducción de los días de operación es esencial para lograr una entrega más rápida de productos o servicios y para optimizar el uso de los recursos. Identificar la ruta crítica permitirá a la empresa establecer prioridades y concentrar sus recursos en las áreas más impactantes.

Optimización y Enfoque Estratégico: La determinación de la ruta crítica proporcionará a la empresa una base sólida para una toma de decisiones estratégicas. Al conocer qué operaciones tienen el mayor impacto en la duración total del proceso, la empresa puede implementar mejoras específicas y asignar recursos de manera más efectiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la resolución de este proyecto, será necesario apoyarse en la teoría de la metodología PERT/CPM desde el uso de aplicaciones como POM QM y Excel QM, no obstante, solo son herramientas interpretaciones, posterior a eso, se introducen los datos en sus diferentes modalidades y de acuerdo con el funcionamiento de la misma aplicación.

- Definición de Objetivos:

Determinar la ruta crítica en las operaciones de una empresa distribuidora mediante el uso de PERT/CPM. Mejora la eficiencia en los procesos y reducir los días de operación.

- Recopilación de Datos:

Se busca identificar las operaciones y actividades involucradas en el proceso para poder recopilar datos sobre los tiempos de duración de cada actividad y las dependencias entre ellas.

- Creación del Diagrama de precedencia:

Construir un diagrama de precedencia que represente visualmente las actividades y sus relaciones de dependencia.

- Estimación de Tiempos:

Al ser una empresa que no cuenta con programación previa que permita construir los tiempos óptimos, más probable y pésimo, se tomaron los datos establecidos en días de duración por procesos.

- **Cálculo de Rutas Críticas:**

Aplicar la técnica de PERT/CPM para calcular los tiempos tempranos y tardíos, así como la holgura de cada actividad, con esto podemos identificar las rutas críticas, que son las secuencias de actividades que determinan la duración total del proceso.

- **Análisis y Priorización:**

Evaluar las operaciones en las rutas críticas identificadas y determinar las áreas que tienen el mayor impacto en la duración total del proceso y posteriormente priorizar las áreas que necesitan enfoques de reducción de días de operación para mejorar la eficiencia.

- **Diseño e Implementación de Mejoras:**

Desarrollar estrategias de reducción de tiempo para reducir los tiempos de operación en las áreas prioritarias.

- **Monitoreo y Evaluación:**

Implementar las mejoras y realizar un seguimiento continuo de los tiempos de operación y la eficiencia de las áreas enfoque y por último evaluar los resultados y compararlos con los tiempos previos a las mejoras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al ir desarrollando este caso de estudio, pudimos determinar los puntos necesarios para poder desarrollar el análisis PERT/CPM y posteriormente tener un método gráfico para poder entender el comportamiento real de su ruta de operaciones. Primeramente, fuimos definiendo las etapas secuenciales de las operaciones que maneja la Distribuidora, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 1.

Recepción de mercancía hasta la distribución a clientes, incluyendo secuencia y tiempos.

No.	Actividad	Actividades Previa(s)	Duración (días)
1	Recepción de Mercancía en la Bodega	-	2
2	Almacenamiento y Etiquetado	1	3
3	Actualización del Inventario	2	1
4	Procesamiento de Pedidos	-	2
5	Selección y Empaque	3, 4	4
6	Generación de Documentos	4	1
7	Verificación de Calidad	5	2
8	Culminación del Pedido	6, 7	3
9	Facturación y Registro de Ventas	8	2
10	Revisión y Mejora Continua	9	1
11	Actualización de Seguimiento	8	1
12	Gestión de Devoluciones	8	3
13	Control de Calidad Interno	7	2
14	Aprobación de Controles de Calidad	13	2
15	Análisis de Eficiencia y Costos	10, 11, 12, 14	3

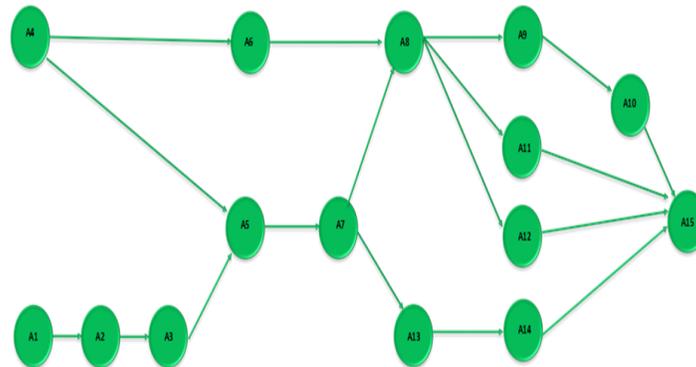
Al recopilar esta información, pudimos tener los datos necesarios para crear un mapa de precedencia en el que se vea de forma gráfica, el movimiento de las operaciones dentro de la bodega de la Distribuidora. esto dio como resultado los siguientes diagramas:

Tabla 2.

Abreviatura de actividades.

No.	abreviatura	Actividad
1	A1	Recepción de Mercancía en la Bodega
2	A2	Almacenamiento y Etiquetado
3	A3	Actualización del Inventario
4	A4	Procesamiento de Pedidos
5	A5	Selección y Empaque
6	A6	Generación de Documentos
7	A7	Verificación de Calidad
8	A8	Culminación del Pedido
9	A9	Facturación y Registro de Ventas
10	A10	Revisión y Mejora Continua
11	A11	Actualización de Seguimiento
12	A12	Gestión de Devoluciones
13	A13	Control de Calidad Interno
14	A14	Aprobación de Controles de Calidad
15	A15	Análisis de Eficiencia y Costos

Figura 1.
Diagrama de precedencia de las operaciones



Al crear este diagrama, los datos de las operaciones con sus respectivas precedencias quedan de manera gráfica y así se pueden ver los diferentes movimientos operacionales, no obstante, al utilizar los datos en la aplicación Excel QM, él mismo nos detalla la estructura con los tiempos de inicio más tempranos y los tiempos finales más tempranos (revisión hacia adelante), también nos muestra los tiempos iniciales más tardíos y los tiempos finales más tardíos, así como las holguras existentes (revisión hacia atrás)

Tabla 3.
Actividades con sus precedencias en tabla dentro de la aplicación Excel QM para construir el diagrama PERT.

Actividad	Tiempo	Precedencia 1	Precedencia 2	Precedencia 3	Precedencia 4
A 1	2				
A 2	3	A 1			
A 3	1	A 2			
A 4	2				
A 5	4	A 3	A 4		
A 6	1	A 4			
A 7	2	A 5			
A 8	3	A 6	A 7		
A 9	2	A 8			
A 10	1	A 9			
A 11	1	A 8			
A 12	3	A 8			
A 13	2	A 7			
A 14	2	A 13			
A 15	3	A 10	A 11	A 12	A 14

Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 4.

Revisión hacia adelante (azul) y revisión hacia atrás (roja)

Actividad	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
A 1	0	2	0	2	0
A 2	2	5	2	5	0
A 3	5	6	5	6	0
A 4	0	2	4	6	4
A 5	6	10	6	10	0
A 6	2	3	11	12	9
A 7	10	12	10	12	0
A 8	12	15	12	15	0
A 9	15	17	15	17	0
A 10	17	18	17	18	0
A 11	15	16	17	18	2
A 12	15	18	15	18	0
A 13	12	14	14	16	2
A 14	14	16	16	18	2
A 15	18	21	18	21	0
Project		21			

El paso hacia adelante calcula los tiempos tempranos cuando las actividades pueden ocurrir y al paso hacia atrás calcula los tiempos tardíos. La diferencia entre los dos indica el grado de flexibilidad que hay en la ejecución de la actividad y este es cuantificado como holgura. estos valores son luego llevados a la tabla del diagrama PERT bajo este formato:

Figura 2.

Formato de celdas en Excel QM con distribución de los datos en el diagrama PERT.

Tiempo inicial más temprano
 Tiempo final más temprano
 Tiempo inicial más tardío
 Tiempo final más tardío
 (días, semanas, meses)
 Holgura (LF - EF)

ES	EF
LS	LF
H	
DURACIÓN	

Luego de tabular los datos y mostrarlos en el diagrama PERT, podemos determinar las operaciones que entran dentro de la ruta crítica, estos visualmente se ven en la tabla con las revisiones hacia adelante y hacia atrás, todas aquellas operaciones que lleven 0 en el slack o en la holgura, pertenecen a la ruta crítica:

Figura 3.

Diagrama PERT con operaciones, tiempos iniciales y finales más tempranos y tardíos respectivamente, mostrando a su vez la ruta crítica.

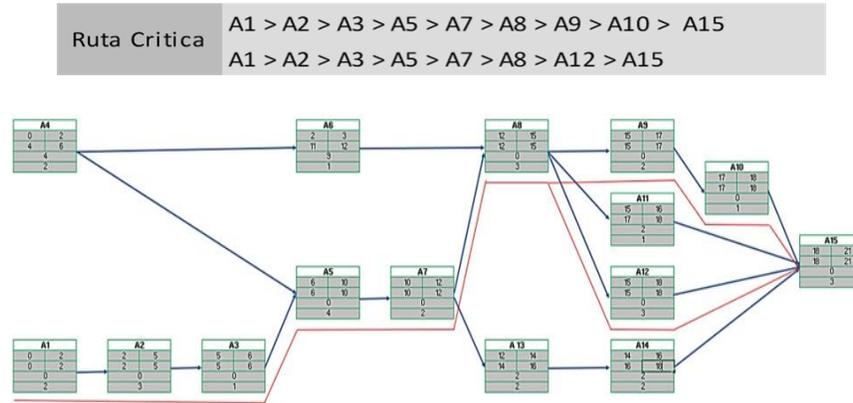
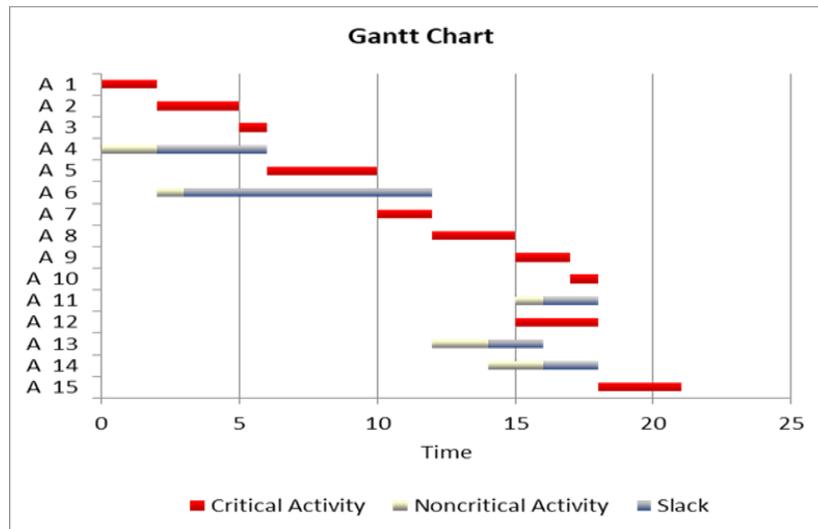


diagrama muestra las operaciones con todos sus tiempos, así como muestra la ruta crítica (línea roja) dando como resultado una operación completa de 21 días con 2 rutas que toman la menor cantidad de tiempo posible (21 días). Sabiendo estos valores, se puede crear un diagrama de Gantt, el cual proporciona una representación visual de cómo se planifican y programan las actividades en la ruta crítica a lo largo del tiempo.

Figura 4.

Diagrama de Gantt que muestra el desarrollo del ciclo de operaciones de la Distribuidora.



Al analizar los resultados obtenidos se pueden llegar a dos importantes respuestas. La primera es que debido a que ya se tiene una representación visual de la ruta crítica en la empresa, sabemos cuáles son las operaciones que verdaderamente necesitan un cambio en los tiempos de ejecución. Un ejemplo visual sería disminuir el tiempo de cualquiera de las operaciones dentro de la ruta crítica.

Tabla 5.

Actividad A1 pertenece a la ruta crítica y se le baja el tiempo original de 2 días a 1 día.

Actividad	Tiempo	Precedencia 1	Precedencia 2	Precedencia 3	Precedencia 4
A 1	1				
A 2	3	A 1			
A 3	1	A 2			
A 4	2				
A 5	4	A 3	A 4		
A 6	1	A 4			
A 7	2	A 5			
A 8	3	A 6	A 7		
A 9	2	A 8			
A 10	1	A 9			
A 11	1	A 8			
A 12	3	A 8			
A 13	2	A 7			
A 14	2	A 13			
A 15	3	A 10	A 11	A 12	A 14

Al reducir o aumentar los tiempos de las actividades que pertenecen a la ruta crítica, podemos ver que hay un cambio inmediato en cuanto a la duración del proceso completo.

Tabla 6.

Nueva duración de proyectos y cambios en los tiempos de inicio y finalización actualizados

Actividad	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
A 1	0	1	0	1	0
A 2	1	4	1	4	0
A 3	4	5	4	5	0
A 4	0	2	3	5	3
A 5	5	9	5	9	0
A 6	2	3	10	11	8
A 7	9	11	9	11	0
A 8	11	14	11	14	0
A 9	14	16	14	16	0
A 10	16	17	16	17	0
A 11	14	15	16	17	2
A 12	14	17	14	17	0
A 13	11	13	13	15	2
A 14	13	15	15	17	2
A 15	17	20	17	20	0
Project		20			

Por otra parte, si añadimos o quitamos tiempo de las actividades que no pertenecen a la ruta crítica, podremos ver que no afecta el tiempo total del proyecto.

Tabla 7.

Cambio de actividad A4 no perteneciente a la ruta crítica, aumento de 2 días a 4 días

Actividad	Tiempo	Precedencia 1	Precedencia 2	Precedencia 3	Precedencia 4
A 1	2				
A 2	3	A 1			
A 3	1	A 2			
A 4	4				
A 5	4	A 3	A 4		
A 6	1	A 4			
A 7	2	A 5			
A 8	3	A 6	A 7		
A 9	2	A 8			
A 10	1	A 9			
A 11	1	A 8			
A 12	3	A 8			
A 13	2	A 7			
A 14	2	A 13			
A 15	3	A 10	A 11	A 12	A 14

Tabla 8.

Duración de proyectos se mantiene (21 días) con dos días añadidos a la actividad 4

Actividad	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
A 1	0	2	0	2	0
A 2	2	5	2	5	0
A 3	5	6	5	6	0
A 4	0	4	2	6	2
A 5	6	10	6	10	0
A 6	4	5	11	12	7
A 7	10	12	10	12	0
A 8	12	15	12	15	0
A 9	15	17	15	17	0
A 10	17	18	17	18	0
A 11	15	16	17	18	2
A 12	15	18	15	18	0
A 13	12	14	14	16	2
A 14	14	16	16	18	2
A 15	18	21	18	21	0
Project		21			

CONCLUSIONES

La implementación de las metodologías PERT/CPM resulta efectiva para abordar desafíos operativos dentro de una empresa. Al identificar caminos críticos, tiempos de operación y recursos clave, estas técnicas proporcionan una hoja de ruta estratégica para minimizar los días de operación y maximizar la utilización de recursos. Se pudo mostrar desde la parte numérica el comportamiento de los días del proyecto en función del aumento o disminución del tiempo de este, esto para entender la importancia de la ruta crítica y de lo que asignar más recursos o minimizar los tiempos de igual forma se puede entender que la misma ayuda en la planificación estratégica de la empresa.

Otro aporte importante de los métodos PERT/CPM es que los mismos muestran una forma visual dependiendo de su dependencia de una actividad previa o no.

REFERENCIAS

- Aplicación Del Método Pert CPM en La Elaboración de Cacao. (s/f). Scribd. <https://es.scribd.com/presentation/484017120/OPE-pptx>
- Flores Tapia, C. E., & Flores Cevallos, K. L. (2020). Aplicación del modelo PERT-CPM a la gestión de proyectos de marketing empresarial. <http://file:///c:/users/usuario/desktop/2969texto%20del%20art%c3%adculo-11117-1-10-20210831.pdf>
- Danfulani, U. B., Mohammed, M., Reuben, B., Yakubu, J. A., & Digil, S. I. (2023). Application of critical path method (CPM) to optimal project scheduling: A case of mosul building company, Yola North local government, Adamawa State, Nigeria. *Fudutsinma Journal of Science*. 7(3), 186 - 192. <https://doi.org/10.33003/fjs-2023-0703-1860>.
- Galán, J. S. (2022). Administración de proyectos. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/administracion-de-proyectos.html>
- Kenar, E., İpek, M., Dügenci, M., & Korkmaz, Ö. A. (2023). Applying the Fuzzy PERT Method in Project Management: A Real-Life Case Study. *International Journal of Computer Engineering and Software Engineering* 9(2), 123-132, <https://doi.org/10.22399/ijcesen.1262975>.

- Mendez, A. (2018). Diagrama PERT CPM Como elaborarlo paso a paso + Ejemplos. Plan de Mejora. <https://www.plandemejora.com/como-elaborar-un-diagrama-pert-cpm/>
- Pert y CPM Tema 4 Investigación de Opera. (s/f). Scribd. <https://es.scribd.com/document/517870511/PERT-Y-CPM-TEMA-4-INVESTIGACION-DE-OPERA>
- Sapag, N., Sapag, R., (2014), El estudio de proyectos. En S.A. Lily (Ed.), Preparación y evaluación de proyectos Sexta Edición. Mc Graw Hill.