

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**COMPARACIÓN CONCEPTUAL DE LOS ESTÁNDARES DE PROGRAMACIÓN
DE OBRAS DE EDIFICACIÓN**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORAS:

Alva Sandoval, Marlit Vreni
Vasquez Quispe, Hylary Marina

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES:

Calle Huaman, Sergio Michael
De la Cruz Salome, Jhordy Brayan
Uchasara Flores, Marco Antonio

ASESOR:

Orihuela Astupinaro, Pablo Fernando

Lima, diciembre de 2020

RESUMEN

La construcción de un proyecto lleva consigo miles de detalles, actividades interdependientes e interrelaciones complejas entre los diferentes involucrados: propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas, etc. Esta construcción debe ser dinámica y de ritmo constante; por ello, es necesaria la elaboración de un plan y la programación del mismo para la supervisión y seguimiento del proceso constructivo. Por lo cual, desde el año 1957 se vienen aplicando métodos de programación tales como PERT y CPM para controlar los tiempos de ejecución de las actividades y optimizar los costos y tiempos del proyecto mediante una planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto. Sin embargo, estas metodologías no son las únicas ni las más efectivas; por lo cual, este trabajo compara 5 metodologías de programación: Program Evaluation and Review Techniques (método PERT), método de la ruta crítica (CPM), el cual es uno de los métodos más usados en nuestro país a la vez que es uno de los más antiguos, Location – Based Management System (LBMS), método de la cadena crítica (CCPM) y las técnicas de compresión de cronograma: Fast Tracking y Crashing; con el objetivo de determinar cuál es la más eficiente, para ello se busca información sobre sus antecedentes, metodología, sus aplicaciones, entre otros datos. Además, se desarrolla cada metodología para un ejemplo específico (construcción de muros de concreto) y se compara los tiempos de duración obtenidos en cada uno; obteniendo como resultado de que el uso del método de la ruta crítica y del Fast tracking son los más recomendables.

ÍNDICE

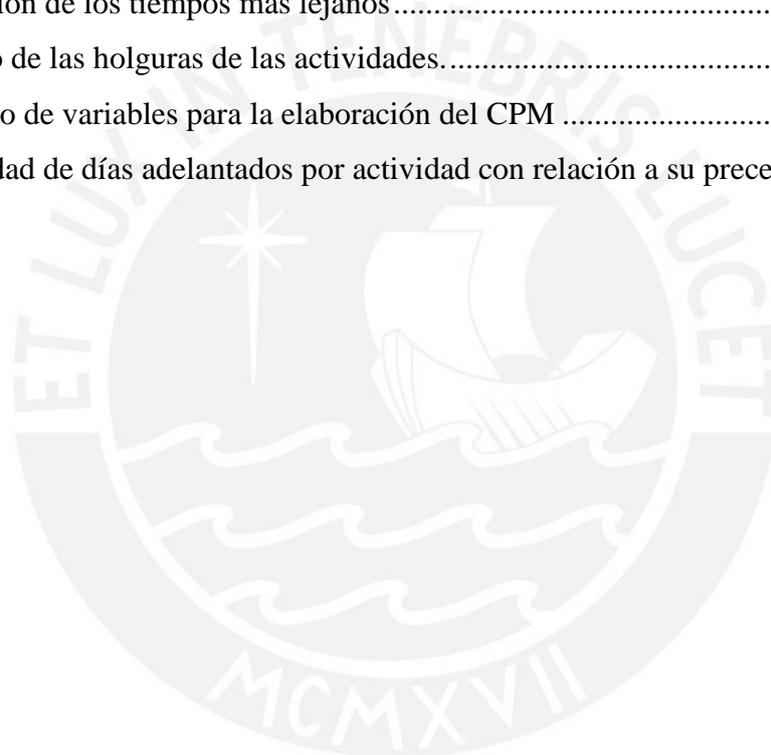
1. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Metodología	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Metodología PERT.....	4
2.2 Ruta crítica	6
2.3 Location-Based Management System (LBMS)	8
2.4 CCPM.....	11
2.5 Técnicas de compresión de cronograma: Fast Tracking y Crashing.....	12
2.6 Curva de producción acumulada	14
2.7 Diagrama de precedencia	16
2.8 Método de Roy	18
3. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.1 Comparación	20
3.2 Metodologías aplicables al proyecto	20
3.2.2 Discusiones	22
3.3 Aplicación de las metodologías de programación a la construcción de un muro de contención.	22
3.3.1 PERT	24
3.3.2 CPM.....	29
3.3.3 LBMS	30
3.3.4 CCPM	31
3.3.5 Fast Tracking y Crashing.....	32
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5. BIBLIOGRAFÍA	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grafo PERT	5
Figura 2. Diagrama de flujo PERT	5
Figura 3. Términos pertenecientes a la ruta crítica	7
Figura 4. Método de la ruta crítica.....	8
Figura 5 y 6. Optimización del diagrama de LBMS	10
Figura 7. Diagrama de red CCPM	12
Figura 8. Crashing y Fast Tracking.....	14
Figura 9. Esquematización de una curva de producción acumulada	15
Figura 10. Diagrama de precedencia	17
Figura 11. Representación básica del Método de Roy.....	18
Figura 12. Nomenclatura del método de Roy	19
Figura 13. Representación final del Método de Roy	19
Figura 14, 15. Perfil transversal y longitudinal del muro de contención	23
Figura 16. Función beta para actividades	25
Figura 17. Gráfica de nodos del PERT	26
Figura 18. Gráfica del método de la ruta crítica	30
Figura 19. Gráfica de línea de balance para un muro de contención.....	30
Figura 20. Actividades reducidas del CPM según el criterio P(50).....	32
Figura 21. Actividades según el criterio P(50) adicionándole buffers.....	32
Figura 22. Programación por ruta crítica	33
Figura 23. Programación comprimida por Fast Tracking.....	33
Figura 24. Programación comprimida por Crashing.....	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones de precedencia	17
Tabla 2. Cuadro de resumen de actividades.....	19
Tabla 3. Comparación de metodologías de programación de obras	20
Tabla 4. Cuadro de ventajas y desventajas.	21
Tabla 5. Duración de las actividades	24
Tabla 6. Resultados obtenidos del PERT.....	25
Tabla 7. Obtención de los tiempos más cercanos	26
Tabla 8. Obtención de los tiempos más lejanos.....	27
Tabla 9. Cálculo de las holguras de las actividades.....	28
Tabla 10. Listado de variables para la elaboración del CPM	29
Tabla 11. Cantidad de días adelantados por actividad con relación a su precedente.....	34



1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad comparar los diferentes sistemas de programación. Principalmente se conocen 5 métodos de programación que son los siguientes: Program Evaluation and Review Techniques (método PERT), método de la ruta crítica (CPM), el cual es uno de los métodos más usados en nuestro país a la vez que es uno de los más antiguos, Location – Based Management System (LBMS), método de la cadena crítica (CCPM) y las técnicas de compresión de cronograma: Fast Tracking y Crashing.

Como bien se mencionó anteriormente, el método de la ruta crítica (CPM) es uno de los métodos más utilizados en la industria de la construcción a la vez que es uno de los más antiguos, su origen se sitúa en el año 1957; sin embargo, al ser uno de los primeros métodos de programación llega a presentar varios inconvenientes a la hora de proyectar el plazo de una obra y como bien se sabe, la industria de la construcción se ha ido adaptando a las nuevas tecnologías de tal forma que para la programación de la obra se tenga en consideración diversos factores como el rendimiento de las cuadrillas, número de actividades a realizar, entre otros. Y es por ello que al momento de emplear una programación esta nos dé un resultado lo más acertado a la realidad.

Las metodologías en estudio tomarán en cuenta los siguientes parámetros para obtener el tiempo total en un ejemplo de aplicación: Número de actividades que intervendrán en el proyecto, determinar qué actividad iniciará primero y si existe alguna relación entre ellas, definir el tiempo estimado de duración de cada actividad basándonos en el rendimiento de las cuadrillas, identificar la ruta crítica y las holguras para las actividades, para así obtener la duración total de la obra y aplicarlo para su próxima supervisión y control de proyecto.

Es muy importante tener una programación más certera basándose en las necesidades de la obra ya que lo primordial en una construcción es obtener un mínimo tiempo para la realización del proyecto y el fin de este estudio es ver las ventajas y desventajas del empleo de los métodos mencionados.

1.2 Justificación

La construcción de un proyecto lleva consigo miles de detalles, actividades interdependientes e interrelaciones complejas entre los diferentes involucrados: propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas, etc. Esta construcción debe ser dinámica y de ritmo constante.

Para la realización de un proyecto es necesario elaborar un plan, en donde se incluyan todos los objetivos que se quieren lograr, las actividades, los costos, las estimaciones de tiempo, etc., y después poder ejecutar este en base a una programación y administración eficiente dando paso a la ejecución del proyecto y su construcción mediante supervisión y seguimiento del proceso constructivo.

Si este plan no se elabora, crece el riesgo de no terminar el proyecto a tiempo, de generar retrasos, entre otros que impliquen no solo tiempo perdido sino también costos.

La programación es un cronograma diseñado para ayudar a estimar cuánto tiempo tomará un proyecto en completarse, es la determinación de los tiempos para las operaciones que abarcan el proyecto, la suma de los tiempos y la identificación de una fecha de culminación. Además, dentro de un proyecto, existe una serie de actividades que no tienen holgura de tiempo para su realización, las llamadas críticas.

Es por ello, que desde el año 1957 se vienen aplicando métodos de programación tales como PERT y CPM para controlar los tiempos de ejecución de las actividades y optimizar los costos y tiempos del proyecto mediante una planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto.

Por lo cual, el presente estudio realizará la comparación de estas 5 metodologías y determinará las ventajas y desventajas de las mismas.

1.3 Alcance

El presente estudio tendrá un alcance exploratorio, descriptivo y correlacional. Esto debido a que el objetivo del trabajo es analizar las ventajas y desventajas de los estándares de programación de obras de edificación y su posterior aplicación conceptual. Las metodologías de programación que abarca la investigación son: PERT, Ruta crítica (CPM),

Línea de balance, Gantt y el diagrama de precedencias (PDM). Además, se aplicará conceptualmente la metodología de programación de ruta crítica (CPM) y se mostrarán los resultados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Evaluar y desarrollar los cinco métodos para la programación de obras de edificación

1.4.2 Objetivos específicos

- Revisar la literatura de los cinco métodos de programación de obra
- Generar un cuadro comparativo de los estándares de programación de obras
- Analizar las ventajas y desventajas de cada método de programación de obras
- Realizar una aplicación en un ejemplo comparativo con las 5 metodologías de planificación seleccionadas.

1.5 Metodología

Los estudios exploratorios ayudarán a examinar las 5 metodologías de programación de obra, esto nos permitirá familiarizarnos con el tema a través de sus características e información pertinente: antecedentes, metodología y resultados de aplicación. Los estudios descriptivos buscarán sintetizar toda la información recopilada y dar a conocer las características más importantes de cada metodología de programación para una fácil asimilación de estas. Los estudios comparativos lograrán conocer el grado de asociación entre cada metodología para su posterior comparación conceptual (Hernández et al., 2014). Finalmente, se realizará un ejemplo aplicativo para cada una de las 5 metodologías seleccionadas y se compararán.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Metodología PERT

El modelo denominado como Program Evaluation and Review Techniques (PERT) fue creado por parte de la Oficina de Proyectos Espaciales de la Armada de los EEUU por el año 1957 como una técnica de medición y control del progreso del desarrollo de “Polaris Fleet Ballistic Missils Program” (Malcolm, 1959).

Esta metodología se basa en un análisis que contempla a la variabilidad del tiempo y las actividades que llegan a intervenir son consideradas como una variable para el método además que esta técnica pretende optimizar el desarrollo y la ejecución de un proyecto por medio del análisis previo de actividades que llegan a conformar y que se relacionan temporalmente. Es por ello que debe conocerse las finalidades del método PERT las cuales son: PERT-Time (Conocimiento del tiempo de ejecución de la obra y de las actividades que lo componen), PERT-Cost (Mejoramiento y optimización de la ejecución del proyecto y haciendo un mejor empleo de los recursos) y por último el PERT-Control (Control y seguimiento de la ejecución de la obra).

La metodología PERT en su conjunto pretende realizar una representación gráfica de las distintas tareas que comprende el proyecto y determinar el tiempo de ejecución por cada una de ellas; para ello debe seguirse las siguientes etapas:

1. Realizar un listado con todas las tareas y actividades
2. Se elaborará una tabla de precedencias para después graficarse mediante nudos y flechas
3. Análisis y calificación del tiempo de ejecución de cada tarea o actividad (Tiempos Early y Last de los sucesos)
4. Determinación del camino crítico
5. Política de ejecución para la mejor disposición de los recursos y que supone el estudio económico de costos y rendimientos que puedan derivarse de las modificaciones estructurales en el proyecto.

El método PERT pretende la reducción del camino crítico, es decir, el acortamiento del tiempo de ejecución del proyecto. De ahí que el PERT analiza la duración de todas y cada una de las actividades que integran el proyecto basándose en un nivel de coste, mientras que el CPM relaciona las posibles duraciones de aquéllas con el coste correspondiente. (Piñeiro Fernández, 1995). En otras palabras, el CPM nos brinda con certeza una duración del proyecto mientras que en el PERT se trabaja con estimaciones del tiempo.

La aplicación de este método es esencialmente para la realización de proyecto nuevos o para aquellos proyectos en los cuales se desee eliminar las rutinas y mejorar la economicidad de su aplicación; es especialmente útil para aquellos programas en los que deben considerarse muchas operaciones interdependientes e interrelacionadas además de que es la mejor forma de tratar las actividades nuevas, para cuyo conocimiento no se dispone de suficiente experiencia (Enrique, 1974).

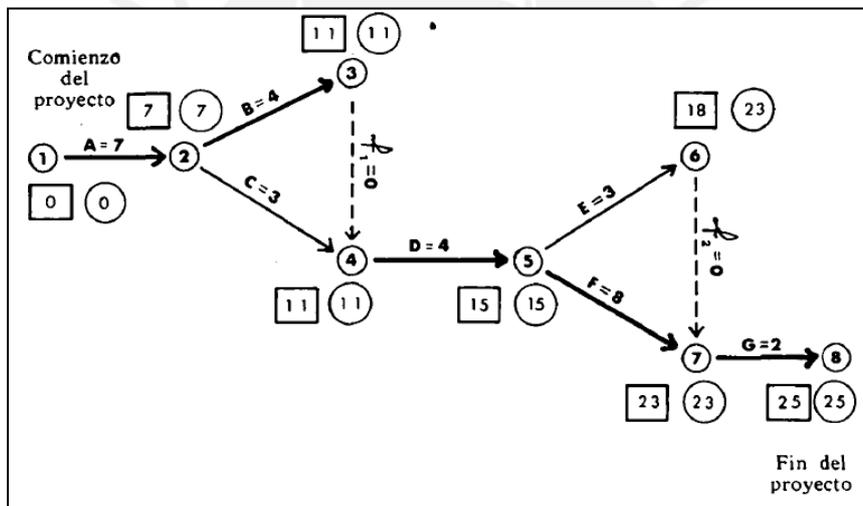


Figura 1. Grafo PERT

(Enrique, 1974)

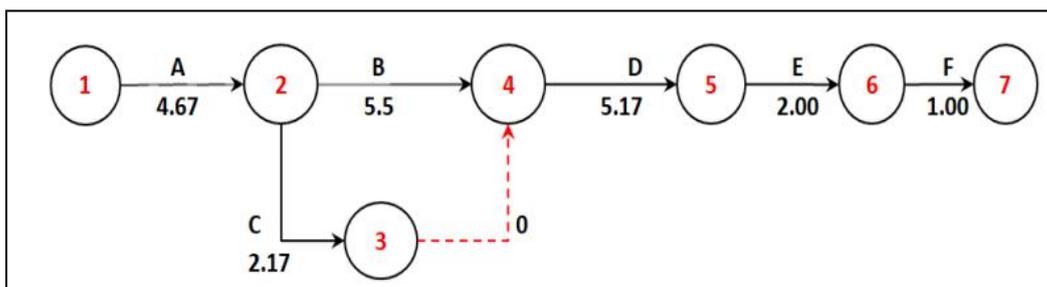


Figura 2. Diagrama de flujo PERT

(Reynaga, 2018)

2.2 Ruta crítica

El origen del método de la ruta crítica fue desarrollado en Estados Unidos en 1957, por un programa de investigación de operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand, buscando el control y optimización de costos de operación a través de la planeación y programación de las actividades del proyecto.

El método de la ruta crítica o también conocido como CPM (Critical Path Method), consiste en una herramienta básica para gestionar los tiempos en la programación y ejecución de proyectos a través de un diagrama esquemático o red que muestra tanto la secuencia y la relación entre las actividades que componen un determinado proyecto.

Este método aporta los elementos administrativos adecuados para la formación de la ruta crítica actual, mediante el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible (Aristizabal,2009).

Según Espinal (2013) el CPM debe cumplir con ciertos requisitos mínimos. Para obtener mejores resultados, los proyectos en los que se determinará este método, deben contar con las siguientes características:

- Que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad
- Que debe de ejecutarse todo el proyecto en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.
- Que se busque el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible

De acuerdo a Fernández (2018), para determinar el método de la ruta crítica o CPM se deben seguir los siguientes pasos:

- 1.- Especificar todas las actividades pertenecientes al proyecto
- 2.- Definir relaciones entre las actividades del proyecto, es decir, indicar las secuencias de las distintas actividades
- 3.- Dibujar el diagrama de red que conecte todas las actividades de acuerdo a sus relaciones de precedencia

- 4.- Definir costos y tiempo de finalización para cada actividad
- 5.- Identificar la ruta más larga del proyecto, la cual representa la duración del proyecto
- 6.- Utilizar el diagrama para planear, supervisar y controlar el proyecto

Asimismo, el método de la ruta crítica cumple las siguientes ventajas:

- EL método CPM emplea un método determinístico, es decir, entiende que las duraciones son conocidas con certeza y se pueden variar cambiando la cantidad de recursos a medida que el proyecto avanza.
- A medida que el proyecto avanza, estos estimados se utilizan para controlar y monitorear el progreso. Si ocurre algún retraso en el proyecto, se hacen esfuerzos por lograr que el proyecto quede de nuevo en el programa cambiando la asignación de recursos.
- Considera que las actividades son continuas e interdependientes, siguen un orden cronológico y ofrece parámetros del momento oportuno del inicio de la actividad.
- Considera tiempos normales y acelerados de una determinada actividad, según la cantidad de recursos aplicados en la misma.

De igual manera, se debe conocer el tiempo que se emplea para cada evento, y de esta manera, determinar el tiempo de duración del proyecto. Para ello se mostrará en la siguiente figura, los términos que corresponden a una actividad perteneciente a la ruta crítica.

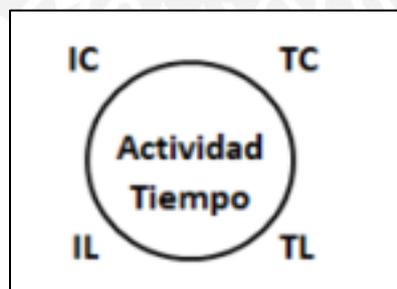


Figura 3. Términos pertenecientes a la ruta crítica

(Fernández,2018)

IC: Inicio más cercano (Tiempo más próximo a comenzar la actividad)

TC: Término más cercano (Tiempo más próximo a terminar la actividad)

IL: Inicio más lejano (Tiempo más lejano a comenzar la actividad)

TL: Término más lejano (Tiempo más lejano a terminar la actividad)

Al unir todas las actividades que pertenecen a un determinado proyecto, se forma una secuencia lógica e interdependiente. La siguiente figura muestra un ejemplo del método de ruta crítica en el cual cada actividad está representado por nodos y flechas.

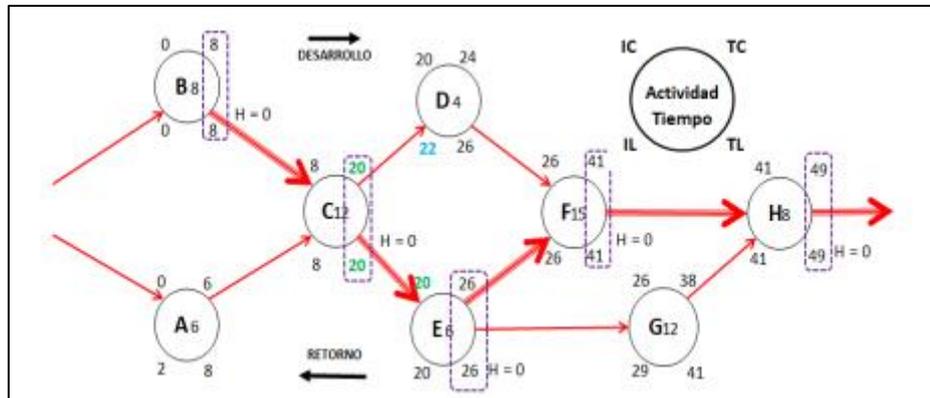


Figura 4. Método de la ruta crítica

(Fernández,2018)

2.3 Location-Based Management System (LBMS)

El Location-Based Management System (LBMS) o “Sistema de Locaciones” fue desarrollado por un grupo de trabajadores encabezado por George E. Fouch durante la década de 1940 para monitorear la producción en la Goodyear Tire & Rubber Company durante la Segunda Guerra Mundial. A partir de este momento, ha sido aplicado en la industria de la construcción, siendo las primeras aplicaciones documentadas la de Lumsden en 1968 y la de Khisty en 1970 (Loria, 2012).

El LBMS es una técnica de planificación, control y programación en el cual se puede visualizar las actividades, su duración, los lugares donde se realizan y la velocidad en la que se ejecutan. Este sistema es diferente respecto a los ya muy utilizados CPM y CPPM, debido a que se fundamenta en una metodología basada en la ubicación. Dicha metodología es perfecta para el sector de la construcción, ya que facilita la gestión de las cuadrillas de trabajo a medida que se desplazan de un lugar a otro en un proyecto de construcción complejo. Por otro lado, los demás sistemas de programación se basan en las actividades, lo cual fuerza al usuario a tomar en

consideración las ubicaciones de manera manual y realizar una duración determinística subjetiva para que una actividad sea completada en cualquier ubicación en la que se pudiese realizar.

Para la aplicación del LBMS se debe de iniciar con todas las actividades realizándose continuamente para poder visualizar las grandes brechas que se pudiese encontrar en las tareas, de esta manera se puede incrementar o disminuir la velocidad de producción para poder optimizar de la mejor manera las brechas entre las actividades. Para su representación se utiliza la Línea de Balance, la cual posee un eje de las abscisas que está representada por el tiempo y las ordenadas por la locación donde se realizarán las tareas. Además, cada línea representa una actividad y la pendiente representa el rendimiento que se quiere tener en la actividad y con la cual se puede optimizar el tiempo en las grandes separaciones entre las líneas de las actividades.

El procedimiento para elaborar un programa de obra con esta metodología es el siguiente (Loría, 2012):

1. Preparar un diagrama lógico de actividades
2. Estimar las horas-hombre para ejecutar cada actividad.
3. Seleccionar los tiempos de espera condicionados (buffers) que eviten el riesgo de interferencias entre actividades.
4. Calcular el rendimiento requerido de cada actividad para completar la obra en el tiempo establecido.
5. Elaborar una tabla con los cálculos necesarios.
6. Dibujar el diagrama o programa de avance, con los resultados de la tabla.
7. Examinar el diagrama y considerar la posibilidad de alternativas más “balanceadas”, tales como:
 - a. Cambiar el rendimiento de alguna actividad (reduciendo o aumentando el número de cuadrillas a lo largo de la duración de la misma).
 - b. Despedir alguna(s) y recontratarlas(s) más adelante.
 - c. Ejecutar de manera simultánea algunas actividades.

El uso del LBMS permite un mejor seguimiento temporal durante el proyecto y permite la estimación del porcentaje de obra que se va ejecutando. Además, te permite identificar los desperdicios de tiempo en las actividades del proyecto y ayuda a calcular los rendimientos en las actividades del proyecto.

En lo concerniente a su aplicación, es el método más adecuado para proyectos de tipo repetitivo, como la construcción de carreteras, edificios de oficinas o procesos de fabricación continua de muchas unidades iguales, en los que se requiere un cierto periodo de tiempo para cada unidad (Loría, 2012).

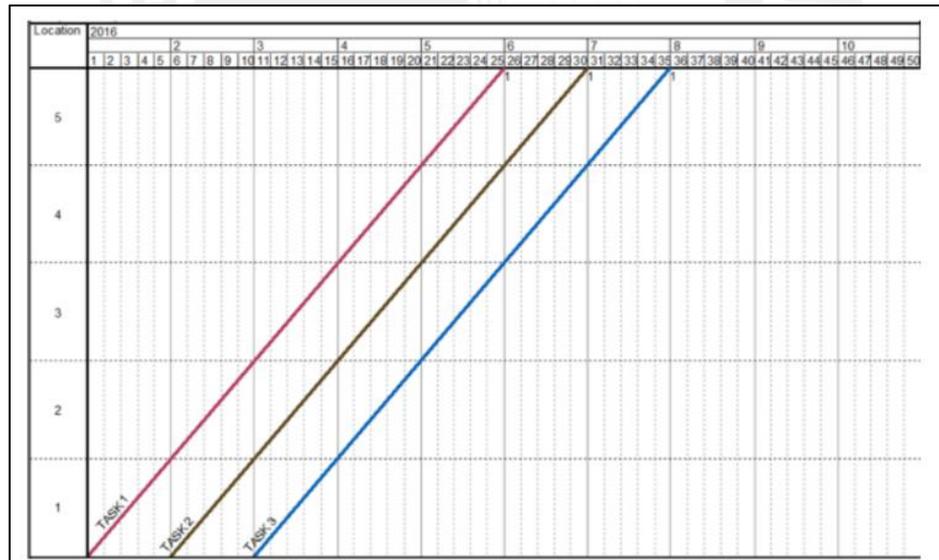
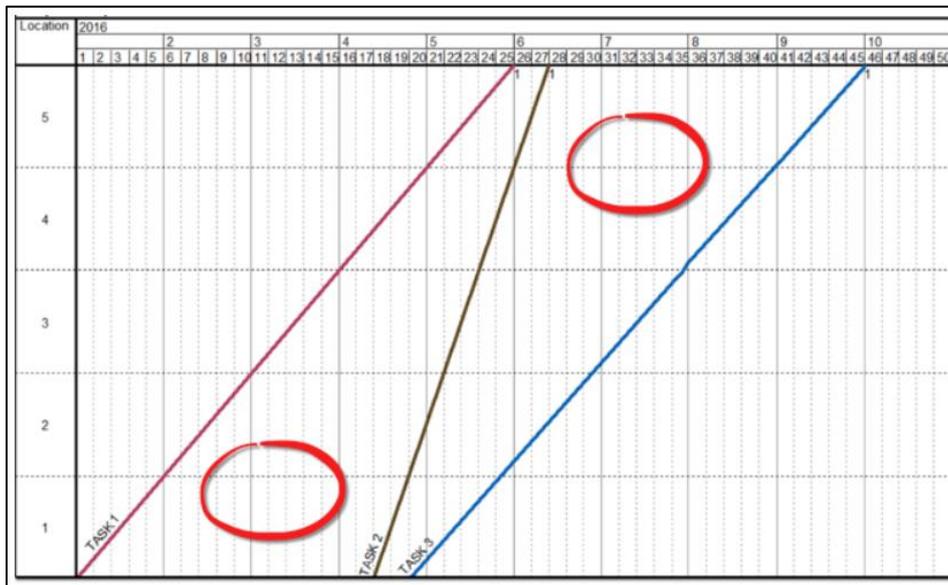


Figura 5 y 6. Optimización del diagrama de LBMS

(Lean Construction Blog, 2016)

2.4 CCPM

La idea de método de la cadena crítica fue presentada en el año 1997 por el físico Eliyahu M. Goldratt en su libro “Cadena Crítica”, en la cual se detalla en qué consiste este método, basado en la teoría de restricciones (TOC). Los proyectos en los que se aplicó el método de la cadena crítica han logrado ser hasta 50% más rápidos y más económicos, que los métodos tradicionales como CPM y PERT (García & Ruiz, 2015).

La cadena crítica o también conocido como CCPM (Critical Chain Project Management), es un método de planificación y administración de proyectos que representa una alternativa a los métodos tradicionales. Este método brinda una técnica práctica para la programación y el control de un sistema de uno o varios proyectos, enfatizando los recursos requeridos para ejecutar las tareas (De Jesús, 2012).

Al momento de estimar la duración de cada tarea individualmente, se protegen las actividades de la incertidumbre, dando una estimación que considere los posibles imprevistos que puedan surgir. Esta protección permite finalizar en el plazo estimado incluso en los casos más desfavorables.

De acuerdo a García (2014), las características más relevantes del método de la cadena crítica son las siguientes:

- Es un método de fácil aplicación operativa.
- Es aplicable tanto a un proyecto individual como a multiproyectos que comparten recursos.
- Su estructura está basada en un enfoque sistemático.
- Considera la influencia del comportamiento humano.
- Utiliza en su sistema la administración de Buffers, los cuales son generados por la eliminación de tolerancias o tiempo de eliminación.

Asimismo, el método de la cadena crítica presenta las siguientes ventajas:

- Permite enfocar los esfuerzos de control y seguimiento del proyecto en las actividades de mayor importancia de modo que facilite la toma de decisiones.
- Favorece el cálculo de tolerancias durante la fase de planificación que permite colocarlo de manera eficaz.
- Brinda reducción de plazos y de entrega de los proyectos sin reducir el margen de confianza de las planificaciones y para empresas que trabajen con múltiples proyectos en simultáneo, la cadena crítica optimiza el resultado de la organización.

Según García (2014), el procedimiento para la determinación de la cadena crítica es el siguiente:

Paso 1: Identificar las restricciones y las actividades pertenecientes a la ruta crítica.

Paso 2: Eliminar las tolerancias de todas las actividades, reduciendo las duraciones de las mismas a la mitad.

Paso 3: Con el fin de proteger el proyecto de forma global, se debe utilizar las tolerancias de las actividades de la ruta crítica con el propósito de desplazarlas al final del proyecto.

A continuación, se muestra en la siguiente figura la representación del método de la cadena crítica para un grupo de actividades y algunas definiciones.

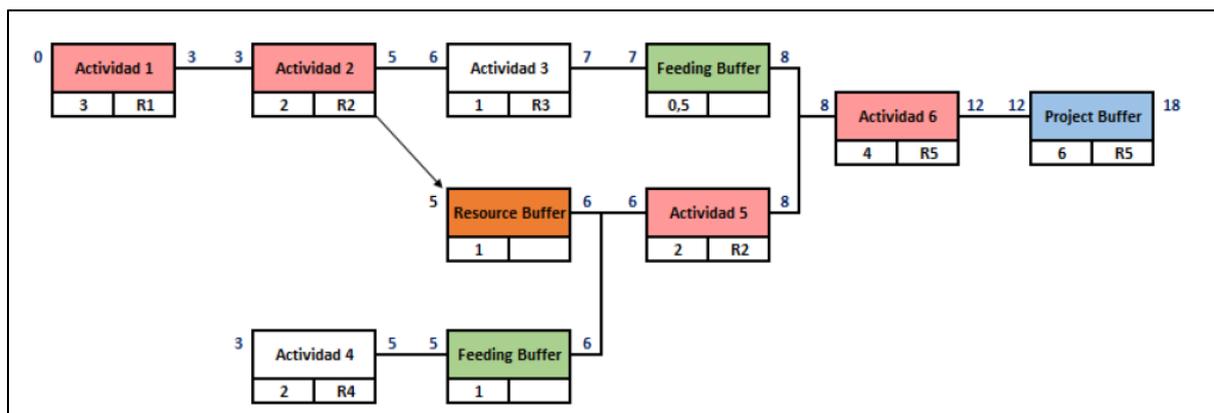


Figura 7. Diagrama de red CCPM

(García, 2014)

-Resource Buffer: Buffer que indica cuando un recurso será establecido a lo largo de la cadena crítica.

-Feeding Buffer: Es un Buffer que se coloca al final de las cadenas que sostienen a la cadena crítica y actúan como tiempo adicional.

-Project Buffer: Buffer que se coloca al final de la cadena crítica.

2.5 Técnicas de compresión de cronograma: Fast Tracking y Crashing

En muchas ocasiones, los proyectos se ven obligados a ser cumplidos antes de la fecha pactada y por ende se necesita comprimir el cronograma. Algunas situaciones son: cuando el cliente necesita que se termine antes, cuando hubo retrasos por clima desfavorable, reputación de la empresa y penalizaciones por demoras. Sin embargo, existen técnicas de compresión del programa de trabajo.

Fast Tracking

Esta técnica permite ejecutar actividades en paralelo, a pesar de que estas siguen una secuencia dentro de la ruta crítica, es decir las que presentan holgura cero. De esta manera se logra adelantar la finalización del proyecto. Sin embargo, las actividades fuera de la ruta crítica no deben ser olvidadas ya que una reducción en el plazo en la ruta crítica podría hacer que las actividades de holguras positivas bajen y entren a una nueva ruta crítica (Project 2080, 2020).

La aplicación de esta técnica no implica un aumento de costos, pero sí un incremento del riesgo. Habitualmente se cumple que al aplicar el Fast Tracking a una actividad que ya se encuentra en un 66% de su desarrollo, el incremento del riesgo no es excesivo y este se encontrará en los límites aceptables. Por otro lado, si se hace un uso excesivo del Fast Tracking puede conllevar a grandes riesgos como trabajos rehechos (Figuerola, 2010).

Una aplicación adecuada de esta técnica se da en el proceso de curado de concreto, ya que se pueden realizar otras actividades en paralelo y sin aumento del costo.

Crashing

Esta técnica permite añadir nuevos recursos a las actividades del proyecto con el fin de aumentar los rendimientos y disminuir los plazos. Específicamente se aplica a las actividades que se encuentran en la ruta crítica debido a que estas definen el plazo del proyecto. Sin embargo, al igual que el Fast Tracking, no se deben olvidar las actividades fuera de la ruta crítica. Ya que estas podrían ingresar a una nueva ruta crítica al disminuir sus holguras (Project 2080, 2020).

La aplicación de esta técnica implica un aumento de costos, pero no un incremento considerable del riesgo. Ante ello, se debe realizar un análisis de nuevos recursos, costos y reducción del plazo para encontrar un equilibrio óptimo. También se debe tener en cuenta que, al ingresar nuevos recursos, se tendría generar una nueva curva de aprendizaje. Por ello, el equipo de dirección del proyecto debe analizar e identificar las actividades en las cuales es beneficioso usar esta técnica (Project 2080, 2020).

La aplicación del Crashing a inicios del proyecto generará una mayor reducción del tiempo con un menor costo. Algunos ejemplos de aplicación de esta técnica son: horas extra de trabajo, reasignación de recursos y recuperación de compromisos (Figuerola, 2010).

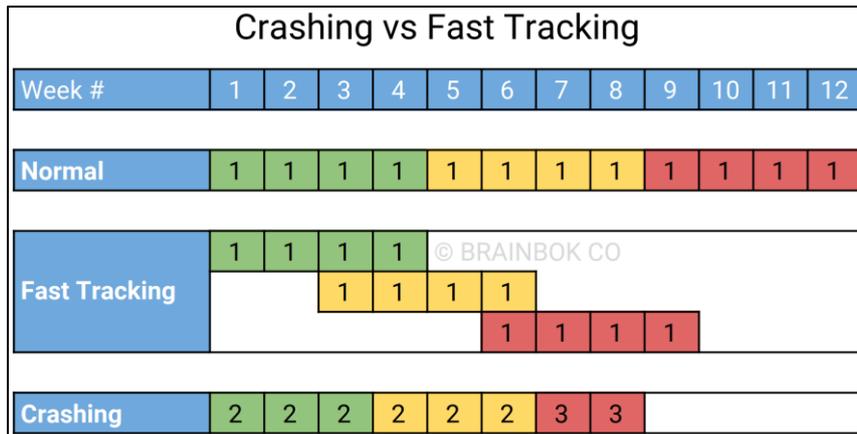


Figura 8. Crashing y Fast Tracking

(Brainbok, 2019)

En la figura anterior se muestra una clara diferencia entre las metodologías Fast Tracking y Crashing. Para el primer caso se busca desarrollar actividades en paralelo, pero manteniendo los plazos de cada actividad. En el segundo caso, se reducen las duraciones de las actividades debido a que se aumentan recursos. En ambos casos existe una reducción del plazo total.

2.6 Curva de producción acumulada

La curva 'S' es una "visualización gráfica de costos acumulados, horas de trabajo, porcentaje de trabajo u otras cantidades, trazadas en función del tiempo". (Carrera., 2019)

Esta curva es una representación del avance acumulado del proyecto a través del tiempo en el cual se tiene a las unidades de producción (o también denominado al avance acumulado de la obra) en las ordenadas y al tiempo en las abscisas. Normalmente, al inicio del proyecto se tiene un avance muy lento, pero a medida que el proyecto se encuentra a la mitad se puede observar un avance más rápido, pero al final del proyecto nuevamente se tiene un avance lento debido al proceso de construcción con el que finalmente se obtiene una gráfica de producción acumulada en forma de S.

Como bien se sabe, la curva S puede ser aplicada para un grupo de actividades o para el proyecto en general, lo cual nos brindará una visión para la comparación entre el avance real de obra respecto al avance proyectado inicialmente y de esa manera ver si el proyecto va por buen camino o se encuentra retrasado.

De manera teórica, al hacerse un análisis de procesos independientes en el proyecto respecto al proyecto en general, no debe ocurrir intersecciones entre ambas curvas ya que es un indicador claro del retraso ocurrido en obra. Finalmente, la creación de esta curva puede realizarse con la ayuda de un diagrama de barras.

Para poder realizar la curva S debemos de conocer y seguir lo siguiente:

- Conocer la duración del proyecto
- Tener definido el inicio de la semana.
- Tener el cronograma de obra bien definido
- Realizar la asignación de los recursos u horas hombre por actividad.
- Haber definido las actividades de precedencia
- Realizar un diagrama de red o de Gantt
- Interpretación de resultados por medio de una campana de Gauss analizando los métodos de la Ruta Crítica o PERT
- Adecuación del cronograma

La manera en la cual puede interpretarse el siguiente gráfico es que debido al inicio del proyecto el avance es lento por los procesos de instalación de las condiciones de trabajo, el acoplamiento de los trabajadores, así como el almacenamiento de los materiales necesarios, es por ello que se tiene una tasa de producción que es baja. Para la parte intermedia del proyecto existe un avance mucho más rápido y para la parte final nuevamente el avance se vuelve a hacer lento debido al proceso de construcción (Dominguez, 2004).

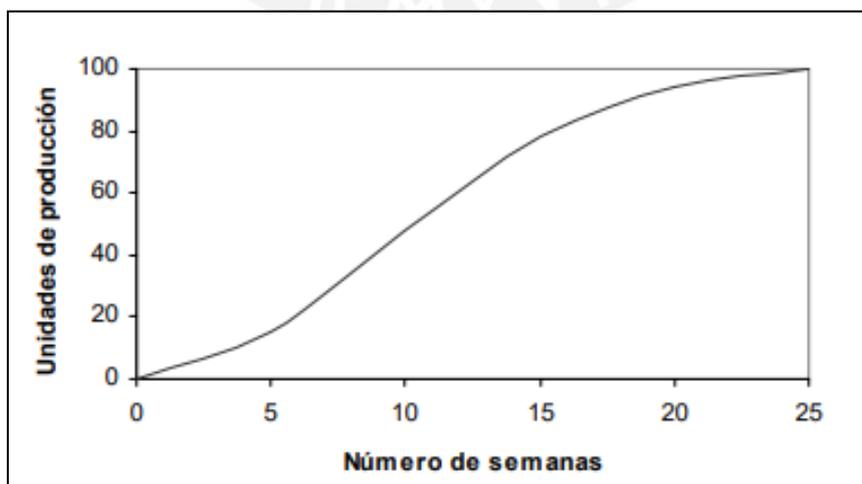


Figura 9. Esquematación de una curva de producción acumulada

(Dominguez, 2004)

2.7 Diagrama de precedencia

IBM comenzó a trabajar con este sistema en 1962 con la H.B. Zachry Co. Su anuncio de 1964 describía un sistema informático que tenía la alternativa de usar datos de diagrama de flechas o usar datos basados en lo que describieron como "diagrama de precedencia" (Fondahl, 1987).

El diagrama de precedencia viene a ser un diagrama de red, el cual representa las actividades, responsabilidades y el transcurso de trabajo de un proyecto de construcción. Usualmente se representa el diagrama con cuadros y flechas, los cuales van a servir para representar la relación que existe entre las actividades que se deben realizar en el proyecto. Este se utiliza para elaborar el cronograma y el flujo de las actividades del proyecto, además de utilizarlo para verificar el avance en cada etapa de la obra hasta su finalización. Además, el diagrama de precedencia no solo tiene como objetivo la realización del seguimiento de cada etapa del proyecto, ya que permite tener una herramienta visual que puede acrecentar la interpretación correcta del proyecto y la retención. De esta manera se aumenta la velocidad y productividad de los miembros participantes del proyecto.

Las actividades en un diagrama de precedencia pueden estar relacionadas de las siguientes maneras:

- Fin-Inicio: La actividad B no iniciará hasta que se finalice la actividad A
- Inicio-Inicio: La actividad B se puede iniciar una vez A se inicie. Esto significa que ambas actividades van a realizarse casi al mismo tiempo, ya que es imposible sincronizar a las actividades para que inicien a la misma vez, siempre habrá un margen de tiempo entre actividades.
- Fin-Fin: La actividad B finalizará cuando la actividad A termine. Al igual que el anterior caso, se tendrá un pequeño margen de tiempo entre la culminación de ambas actividades.
- Inicio-Fin: La actividad B no terminará hasta que comience A. Esta situación generalmente no se usa, ya que es muy improbable que se presente esta situación.

El procedimiento para articular el diagrama de precedencia es el siguiente (Loría, 2012):

- Asegúrese de tener una pizarra o un rotafolio para dibujar su plan.

- Coloque el entregable más importante de su estructura de desglose de trabajo en el lado derecho de la pizarra o del rotafolio.
- Tome cada uno de los niveles más bajos de las tareas y péguelo en su estructura de desglose y organícelos en el orden en que deben ocurrir.
- Trabaje desde la izquierda hasta que tenga las dependencias entre las tareas y tenga una secuencia de funciones ejecutándose de izquierda a derecha.

La ventaja más importante que se obtiene al utilizar este método es que permite un rápido entendimiento del equipo de proyecto sobre todas las tareas programadas y las relaciones entre estas.

En lo concerniente a su aplicación, es ampliamente utilizado en muchas metodologías para poder definir las relaciones entre las actividades; por ejemplo, la ruta crítica, la metodología PERT, etc.

Tabla 1. Relaciones de precedencia
(Praxis, 2014)

Actividad	Predecesor(es)
A	None
B	A
C	B
D	A
E	D
F	C, D
G	F, E

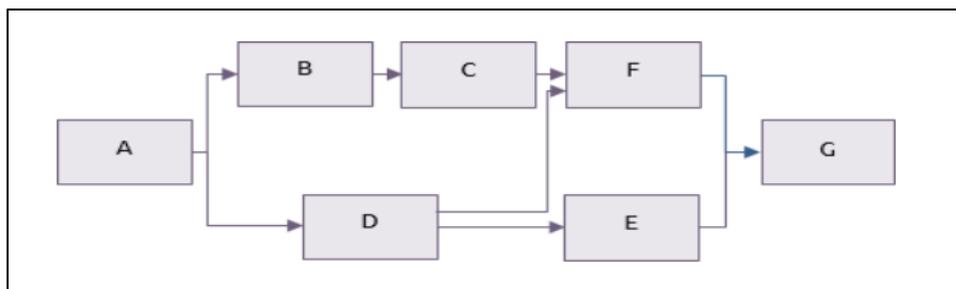


Figura 10. Diagrama de precedencia

(Praxis, 2014)

2.8 Método de Roy

El método Roy nace en 1960 a partir de los trabajos de Bernard Roy. Esta metodología presenta notorias diferencias con PERT y CPM. Durante el desarrollo de un proyecto con producción en serie, los ritmos de trabajo, la secuencia de producción y los procesos suelen ser permanentes, por ejemplo: líneas de ensamblaje de ciertas industrias. Sin embargo, en proyectos con producción por encargo tales como la construcción, existen múltiples secuencias temporales que pueden estar interrelacionados. Para modelos de este tipo, se puede utilizar el método Roy (Wolters Kluwer, 2020).

El método de Roy es una herramienta de programación temporal que usa la técnica de grafos y este contiene nudos y arcos para definir la prelación de actividades del proyecto. Los nudos son la representación de actividades de un proyecto y se representan con un cuadrado. Los arcos unen los nudos y definen la prelación (BirtLH, 2020).

Además, la prelación de actividades puede presentarse en las siguientes situaciones:

- Prelación lineal
- Prelación que originan convergencia
- Prelación que originan divergencia

Es por ello que una de las ventajas de este método es que se pueden combinar las prelaaciones mencionadas para generar nuevas relaciones entre actividades.

Para la construcción del grafo se deben identificar las actividades del proyecto y adicionalmente agregar dos actividades necesarias: inicio y fin. Del primero salen los arcos iniciales y el segundo es el que recibe los arcos finales.

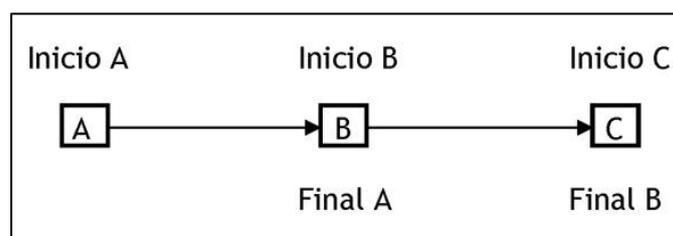


Figura 11. Representación básica del Método de Roy

(Wolters Kluwer,2020)

Finalmente, la duración del proyecto dependerá de las duraciones de las actividades. Para este método, se manejan dos conceptos:

- Tiempo mínimo: Se elige el valor mayor de la suma de los tiempos mínimos y la duración de la actividad. Este proceso se realiza de izquierda a derecha.
- Tiempo máximo: Se elige el valor menor de la diferencia de los tiempos máximos y la duración de la actividad. Este proceso se realiza de derecha a izquierda.

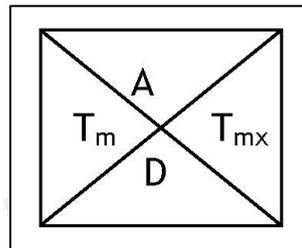


Figura 12. Nomenclatura del método de Roy

(Wolters Kluwer,2020)

A: Actividad, Tm: Tiempo mínimo, Tmx: Tiempo máximo, D: Duración de la actividad

A continuación, se muestra un ejemplo de representación de la metodología Roy para un proceso con actividades resumidas en un cuadro previo:

Tabla 2. Cuadro de resumen de actividades

(Wolters Kluwer,2020)

ACTIVIDAD	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Precedencia	---	---	---	A,B	B	B,C	D	D,E	E,F	G,H
Duración (días)	5	7	9	8	10	10	5	4	3	5

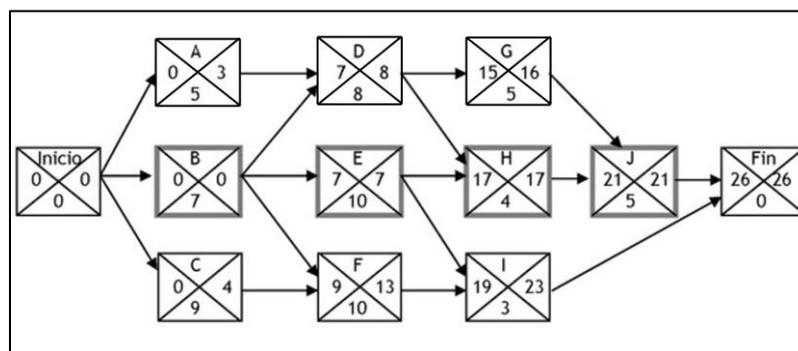


Figura 13. Representación final del Método de Roy

(Wolters Kluwer,2020)

3. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Comparación

Se procederá a comparar las metodologías trabajadas en los puntos anteriores tomando en cuenta los siguientes criterios: alcance, recursos, herramientas y evolución.

Tabla 3. Comparación de metodologías de programación de obras

Fuente: propia

METODOLOGÍAS	ALCANCE	RECURSOS	HERRAMIENTAS	EVOLUCIÓN
PERT	Todo tipo de proyectos en especial para proyectos nuevos o aquellos en los que desee eliminar rutinas de trabajo	Listado de todas las actividades y una estimación de tiempo por cada una de ellas, con gráfico de nudos	Microsoft Project, EDRAW MAX, etc	Es mejor aplicable debido a la evolución de los software
Ruta crítica	Aplicable a todo tipo de proyectos, sobre todo es utilizado en la construcción	Listado de todas las actividades y una estimación de tiempo por cada una de ellas, con diagrama de redes	Microsoft Project y Excel	Es un metodo muy utilizado, pero tambien es muy antiguo
LBMS	Proyectos con varios sectores y/o operaciones repetitivas como construcción de carreteras, desarrollos habitacionales, puentes, entre otros.	Diagrama lógico de actividades, horas hombre, buffers, rendimientos, cuadrillas	Excel, VICO Office y TILOS	Es aplicable en la actualidad pero no ha evolucionado mucho tecnológicamente.
CCPM	Aplicable a todo tipo de proyectos donde se requiera la planificación y programación de actividades	Listado de todas las actividades y la identificación de la ruta crítica	Microsoft Project y Excel	Es un metodo utilizado recientemente y es aplicable a la gestion de proyectos
Técnicas de compresión de cronograma: Fast Tracking y Crashing	Proyectos en los que se necesita disminuir el plazo para ser finalizados.	Actividades de la ruta crítica, duración de actividades, holgura de actividades fuera de la RC, recursos externos y costos	Microsoft Project	Muy utilizado en la actualidad
Curva de producción acumulada	Aplicable para proyectos que cuenten con el uso de otra metodología y cuenten con un diagrama de barras	Cronograma vigente, tiempo y producción realizada	Excel	Actualmente utilizado, mas no hubo un cambio en la tecnología a emplear
Diagramación de Precedencias	Se usa en la planificación, implementación y monitoreo de proyectos, particularmente de proyectos a gran escala	Se debe identificar las actividades individuales de un proyecto y conocer cuales de estas se realizan conjuntamente	Microsoft Project y Excel	Es muy utilizado actualmente debido a la sencillez en la elaboración del diagrama
Método de Roy	Todo tipo de proyectos: construcción, industrial, softwares, etc.	Listado de todas las actividades y una estimación de tiempo por cada una de ellas. Conocimiento de las secuencias de actividades	MS Visio, Lucidchart, notas adhesivas, etc	Su aplicación es mejor en proyectos con actividades interrelacionadas: construcción

3.2 Metodologías aplicables al proyecto

A continuación, se realizó un cuadro de ventajas y desventajas de tres metodologías elegidas aplicables al proyecto.

Tabla 4. Cuadro de ventajas y desventajas.

Fuente: propia

	Ventajas	Desventajas
PERT	<ul style="list-style-type: none"> *Optimización de la ruta crítica. *Cada tarea se trabaja de manera individual. *Los tiempos que toman las tareas son probabilísticos. *Se pueden utilizar distintos softwares. *Te permite ubicar los puntos críticos de manera gráfica. 	<ul style="list-style-type: none"> *Presenta incertidumbre. *Inexactitud en la proyección de la duración del proyecto.
Ruta crítica	<ul style="list-style-type: none"> *Es un método fácilmente comprensible. *Las duraciones de las tareas son casi exactas. *Se pueden usar distintos softwares. *Las tareas son continuas e interdependientes. 	<ul style="list-style-type: none"> *Los cambios en la duración de las tareas afectan al plazo del proyecto. *No permite que se empiece una tarea sin que se haya culminado la que la precede.
LBMS	<ul style="list-style-type: none"> *El uso de las líneas de balance permite un mejor seguimiento temporal durante el proyecto. *Permite estimar el porcentaje de obra que se va ejecutando. *Te permite identificar los desperdicios de tiempo en las actividades del proyecto. *Ayuda a calcular los rendimientos en las actividades del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> *No logra identificar las actividades críticas del proyecto. *Su uso como mecanismo de monitoreo no es tan sencillo como uno de planificación. *Muestra donde está el problema, pero no identifica cuál es el problema.
Cadena crítica	<ul style="list-style-type: none"> *Favorece el cálculo de tolerancias durante la fase de planificación que permite colocarlo de manera eficaz. *Brinda reducción de plazos y de entrega de los proyectos sin reducir el margen de confianza de las planificaciones. *Para empresas que trabajen con múltiples proyectos en simultáneo, la cadena crítica optimiza el resultado de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> *No siempre se puede asegurar que reducir el 50% de duración garantice la ausencia de retrasos en las actividades. *Pueden surgir problemas en la etapa de control si los retrasos de todas las entregas de actividades son penalizados.

Fast Tracking y Crashing	<p>*Ayuda a acortar el plazo de la obra para fines especiales, tales como reputación de la empresa o retrasos por clima desfavorable.</p> <p>*Se puede acortar plazos en el momento que se desee.</p> <p>*Cualquiera de las dos opciones es efectiva, pero debe ser analizado antes de ser usado.</p> <p>*Son muy usados actualmente y presentan buenos resultados.</p>	<p>*Cuando se usa Fast tracking el riesgo se incrementa y debe mantenerse dentro de un límite, caso contrario se generarán malos trabajos.</p> <p>*Al usar Crashing se incrementa el costo de las actividades, el staff debe analizar bien la etapa al cual se debe aplicar.</p> <p>*Se necesita una programación previa que muestre la ruta crítica.</p>
--------------------------	---	---

3.2.2 Discusiones

- ✓ Se analizaron 10 metodologías; sin embargo, algunas no llegaron a ser aplicables al proyecto trabajado. Esto debido a que algunas son usadas como herramientas de representación de otras ya desarrolladas previamente y también algunas son técnicas para reducir la duración del proyecto. Entre ellas encontramos a: Curva de producción acumulada, diagrama de espacio y tiempo, diagrama de precedencias, CCPM, método LPU y Fondhal, método de Roy, Fast tracking y Crashing.
- ✓ Se escogieron tres metodologías aplicables al proyecto: PERT, ruta crítica y línea de balance. La metodología PERT es aplicable debido a su característica probabilística, además identifica y optimiza la ruta crítica. La ruta crítica es determinística y define la duración del proyecto. La línea de balance permite un mejor seguimiento temporal y además logra identificar los desperdicios de tiempo en el proyecto.

3.3 Aplicación de las metodologías de programación a la construcción de un muro de contención.

Para el presente trabajo de investigación, se desarrollará un ejemplo de aplicación para las metodologías principales estudiadas. El proyecto por realizar es un muro de contención ficticio de concreto armado de 20 metros de longitud lineal y 3.30 metros de altura, este presenta una zapata de sección 0.50 metros por 2.85 metros. El muro presenta 4 paños separados por juntas de dilatación que serán rellenas con material asfáltico. A continuación, se muestra un cuadro con las partidas a realizar y sus respectivas duraciones programados.

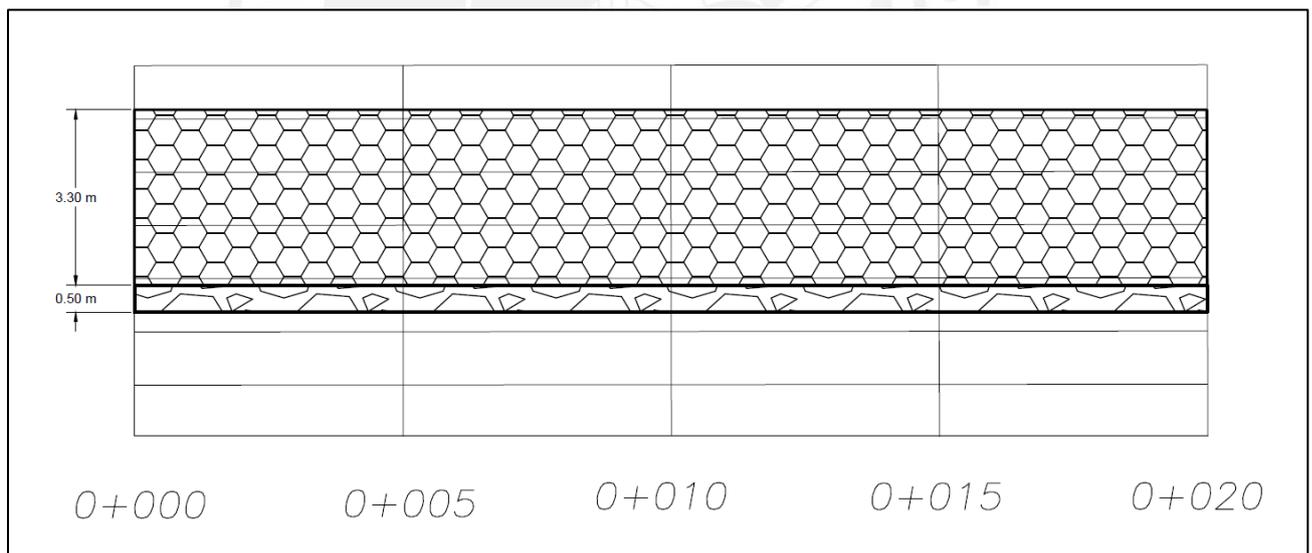
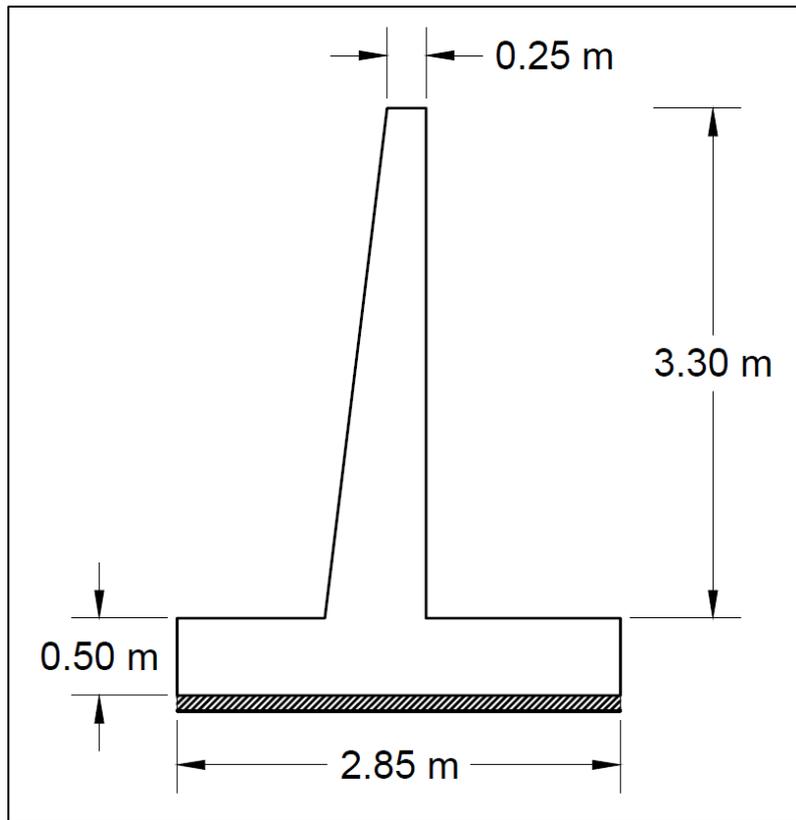


Figura 14, 15. Perfil transversal y longitudinal del muro de contención

Fuente: Propia

Tabla 5. Duración de las actividades
Fuente: propia

PARTIDAS	DURACIÓN(DÍAS)
Obras provisionales	1
Seguridad y salud	1
Nivelación, trazo y replanteo	1
Excavación de zanja y zapata	10
Eliminación de material excedente	7
Solado de concreto	7
Acero	18
Encofrado	11
Drenaje y conexiones	11
Concreto	14
Desencofrado	14
Relleno y compactación	11
Junta de dilatación	6
Limpieza de terreno	2

3.3.1 PERT

Para el caso de la metodología PERT se considera como variables a los tiempos, pero de manera aleatoria, estos a su vez serán representados por nodos y flechas de los cuales las flechas representarán las actividades de inicio a fin.

Para ello se realizará un cuadro en el cual se tomarán en cuenta tres tipos de tiempo que son los siguientes:

- T_o = Tiempo Optimista (a) (Indica la duración de la actividad ante una situación favorable)
- T_n = Tiempo normal (m) (Es la duración más común de la actividad)
- T_p = Tiempo pesimista (b) (Es la duración de la actividad en condiciones desfavorables)

Para la determinación de la duración de cada actividad, la variabilidad de las actividades se asocia a una función probabilística beta; esta función es la que se modela mucho mejor a la duración de las actividades.

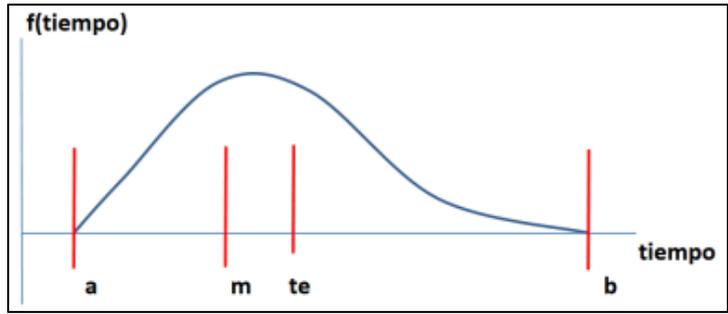


Figura 16. Función beta para actividades

(Reynaga, 2018) PAG. 29

Tomando en cuenta esta función es que se procederá a determinar el tiempo esperado (T_e) y la varianza, haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Tiempo esperado (Te): } T_e = \frac{a+4m+b}{6}$$

$$\text{Varianza de la actividad } (\sigma^2): \sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{36}$$

Aplicando las siguientes fórmulas es que se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados obtenidos del PERT

Fuente: propia

Partidas	Actividad	Predecesora	Tiempo Optimista (To)	Tiempo normal (Tn)	Tiempo pesimista (Tp)	Tiempo esperado (Te)	Varianza
Obras provisionales	A	N/a	1	1	2	1.2	0.03
Seguridad y salud	B	A	1	1	2	1.2	0.03
Nivelación, trazo y replanteo	C	B	1	1	2	1.2	0.03
Excavación de zanja y zapata	D	B	8	10	12	10.0	0.44
Eliminación de material excedente	E	D y C	4	7	9	6.8	0.69
Solado de concreto	F	E	5	7	10	7.2	0.69
Acero	G	F	15	18	20	17.8	0.69
Encofrado	H	G	10	11	13	11.2	0.25
Drenaje y conexiones	I	G	8	11	12	10.7	0.44
Concreto	J	H e Y	12	14	15	13.8	0.25
Desencofrado	K	J	10	14	16	13.7	1.00
Relleno y compactación	L	K	8	11	13	10.8	0.69
Junta de dilatación	M	L	4	6	7	5.8	0.25
Limpieza de terreno	N	M	1	2	2	1.8	0.03

Teniendo en cuenta esta tabla se procedió a representar los resultados gráficamente tomando en cuenta las siguientes indicaciones:

1. Las actividades se representarán mediante una flecha y en cada una de ellas se colocará el nombre de la actividad y su tiempo esperado
2. Las situaciones serán representadas mediante un círculo, elipse o cuadrado y en el interior de cada uno de ellos se colocará un número. (A estos se les denomina nodos)
3. Entre cada nodo solo puede tenerse una actividad y es por ello que será necesario el uso de actividades ficticias, las cuales serán representadas mediante una flecha con líneas punteadas.

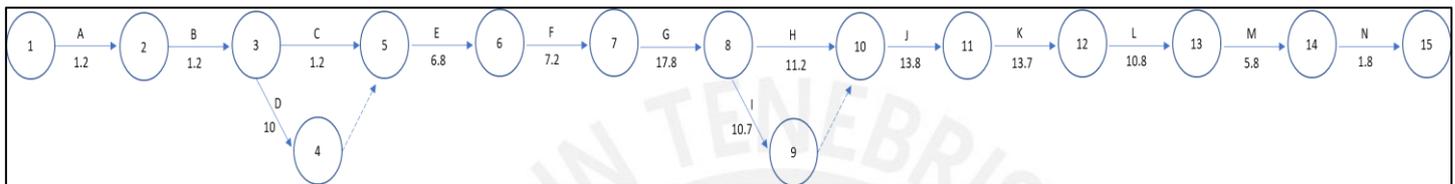


Figura 17. Gráfica de nodos del PERT

Fuente: propia

4. Al tener ya nuestra representación gráfica se procederá a determinar lo siguiente:
5. Tiempos más cercanos
6. Su cálculo se basa en la sumatoria de los tiempos de la actividad anterior más el tiempo de duración de la actividad (Puede obtenerse de la figura anterior o de la Tabla 6.). A continuación, se mostrará la tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 7. Obtención de los tiempos más cercanos

Fuente: propia

NODO	Nodo inmediato anterior	Tiempo más cercano del nodo anterior	+	Tiempo de la actividad del nodo	Tiempo más cercano (E)
1	-	-	+	-	0
2	1	0	+	1.2	1.2
3	2	1.2	+	1.2	2.4
4	3	2.4	+	10	12.4
5	3	2.4	+	1.2	3.6
	4	12.4	+	0	12.4
6	5	12.4	+	6.8	19.2
7	6	19.2	+	7.2	26.4
8	7	26.4	+	17.8	44.2
9	8	44.2	+	10.7	54.9
10	8	44.2	+	11.2	55.4
	9	54.9	+	0	54.9

11	10	55.4	+	13.8	69.2
12	11	69.2	+	13.7	82.9
13	12	82.9	+	10.8	93.7
14	13	93.7	+	5.8	99.5
15	14	99.5	+	1.8	101.3

a) Tiempos más lejanos

Se realiza el mismo cálculo, pero para la ruta de retorno, con la resta del tiempo más cercano y la duración de la actividad. En caso dos actividades llegasen a concurrir en un mismo nodo, se toma en consideración a la que tiene un menor valor. A continuación, se presentará la tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 8. Obtención de los tiempos más lejanos

Fuente: propia

NODO	Nodo inmediato posterior	Tiempo más cercano del nodo anterior	-	Tiempo de la actividad del nodo	Tiempo más lejano (L)
15	-	-	-	0	101.3
14	15	101.3	-	1.8	99.5
13	14	99.5	-	5.8	93.7
12	13	93.7	-	10.8	82.9
11	12	82.9	-	13.7	69.2
10	11	69.2	-	13.8	55.4
9	10	55.4	-	0	55.4
8	10	55.4	-	11.2	44.2
	9	55.4	-	10.7	44.7
7	8	44.2	-	17.8	26.4
6	7	26.4	-	7.2	19.2
5	6	19.2	-	6.8	12.4
4	5	12.4	-	0	12.4
3	5	12.4	-	1.2	11.2
	4	12.4	-	10	2.4
2	3	2.4	-	1.2	1.2
1	2	1.2	-	1.2	0

b) Ruta crítica

Con los resultados obtenidos en las dos últimas tablas, se realizó una tercera tabla en la cual se encontrarán las holguras haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$L_j - (E_i + T_{e_{ij}}) = H_{ij}$$

Donde:

- L = Tiempos más lejanos
- E = Tiempos más cercanos
- Te = Tiempo esperado
- i = Inicio de la actividad
- j = Término de la actividad

De esta manera se obtuvo lo siguiente:

Tabla 9. Cálculo de las holguras de las actividades.

Fuente: propia

ACTIVIDAD	Nodo Actividad		Lj-(Ei+te ij) = Hij			
	i	j	Lj	Ei	te ij	Hij
A	1	2	1.2	0	1.2	0.0
B	2	3	2.4	1.2	1.2	0.0
C	3	5	12.4	2.4	1.2	8.8
D	3	4	12.4	2.4	10.0	0.0
E	5	6	19.2	12.4	6.8	0.0
F	6	7	26.4	19.2	7.2	0.0
G	7	8	44.2	26.4	17.8	0.0
H	8	10	55.4	44.2	11.2	0.0
I	8	9	55.4	44.2	10.7	0.5
J	10	11	69.2	55.4	13.8	0.0
K	11	12	82.9	69.2	13.7	0.0
L	12	13	93.7	82.9	10.8	0.0
M	13	14	99.5	93.7	5.8	0.0
N	14	15	101.3	99.5	1.8	0.0

Se puede concluir según esta tabla que las actividades que cuentan con una holgura igual a 0 pasarán a formar parte de la ruta crítica y en este caso se seguirá en siguiente orden: A, B, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

- c) Para el cálculo del tiempo del proceso se realizará la suma del tiempo del último nodo de la primera tabla que es igual a 101.3 días, a este se le adicionará la suma de las varianzas exceptuando los valores de las actividades con holguras diferentes a cero que es igual a 5.06. Realizando la adición se obtuvo como resultado una duración del proyecto de 106.4 días

3.3.2 CPM

Para el caso de la metodología CPM se considera como variable todas las actividades o partidas pertenecientes al proyecto, y también la duración de las mismas. Asimismo, se debe tener en cuenta el orden de todas las partidas, es por ello que para se asigna una letra a cada partida para utilizar una escala de interdependencias entre todas las actividades del proyecto tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. Listado de variables para la elaboración del CPM

Fuente: propia

Asignación	Partidas	Duración (días)	Predecesora
A	Obras provisionales	1	-
B	Seguridad y salud	1	A
C	Nivelación, trazo y replanteo	1	B
D	Excavación de zanja y zapata	10	B
E	Eliminación de material excedente	7	D,C
F	Solado de concreto	7	E
G	Acero	18	F
H	Encofrado	11	G
Y	Drenaje y conexiones	11	G
J	Concreto	14	H,Y
K	Desencofrado	14	J
L	Relleno y compactación	11	K
M	Junta de dilatación	6	L
N	Limpieza de terreno	2	M

La programación de la ruta crítica se realizó mediante la representación de diagrama de barras divididas en dos ejes. En el eje vertical se encuentran las actividades a realizar desde el inicio hasta el fin del proyecto, mientras que en el eje horizontal se ubican los tiempos en días. De acuerdo con esta metodología la duración de todo el proyecto es de 62 días, tal como se muestra en la siguiente figura.

3.3.4 CCPM

En primer lugar, se identificó los recursos que necesita cada actividad para encontrar una posible dependencia entre los recursos de las actividades. Para este ejemplo no se tiene dependencia en los recursos, ya que las distintas tareas utilizan materiales y mano de obra especializada independientes de cada tarea. Con los recursos ya definidos, se utilizará el criterio del P(50) para definir el tiempo que necesitan tener los buffers. Este criterio consiste en reducir las duraciones de las actividades para poder definir a la mitad del valor resultante como el tamaño del buffer. El problema de este método es que puede resultar en tamaños de buffers exagerados, los cuales pueden ser complicados de justificar.

El tamaño de los buffers puede expresarse con la siguiente ecuación (García, 2014):

$$Buffer = 0.5 \sum_{i=1}^n (d_i - Tri)$$

Donde:

n: Número de las actividades incluidas en la cadena crítica.

d_i : Tiempo de duración de cada actividad.

Tri: Reducción del tiempo de duración de cada actividad.

Para la realización de la programación haciendo uso del método de la cadena crítica, se realizó los siguientes supuestos:

- Se reduce el tiempo de las actividades al 50%, siguiendo el criterio P(50). Con la experiencia se puede reducir de una manera más acertada, ya que podría darse el caso que se redujese mucho la duración de una actividad, lo cual podría causar una fecha de culminación muy temprana en el proyecto. Para este caso se reduce todas las actividades al 50%.
- Se adicionarán “feeding buffers” al final de las actividades pertenecientes a la cadena crítica y se adicionará un “project buffer” después de culminado la última actividad de la cadena crítica. Los “feeding buffers” se calcularán como la mitad de la duración de las actividades reducidas por el criterio P(50). Además, el “project buffer” se obtiene de la diferencia de la duración del cronograma obtenido por el CPM y la duración del

Como se había mencionado, para el Fast Tracking la duración de actividades no varía mientras que en el Crashing sí. Y los días adelantados con relación a la actividad precedente varían en el Fast tracking mientras que en el Crashing no varían.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Una metodología de programación beneficia en el desarrollo de un proyecto debido a que reducen los riesgos, administra mejor los recursos y optimizan el desarrollo de las actividades.
- ✓ Se debe implementar una metodología adecuada dependiendo el tipo de proyecto que abarca. Por ejemplo: softwares y obras de edificación.
- ✓ Al usar PERT se puede controlar los tiempos de ejecución de múltiples actividades, además que utiliza una planificación, programación de actividades y medida de control.
- ✓ Al usar CPM se especifican todas las actividades y duraciones del proyecto y sirve como base para la realización de los métodos CCPM, Fast Tracking y Crashing.
- ✓ Las líneas de balance presentan una técnica mucho más intuitiva y práctica para la programación de obras civiles, ya que permite tener en un solo diagrama simplificado toda la información referente al cronograma del proyecto de manera más ordenada y entendible para todos los involucrados.
- ✓ Al usar CCPM se reduce el tiempo pesimista de las actividades propuestas por el CPM, para lo cual se utilizan buffers para obtener un mejor control de los tiempos. De esta manera se logra un mejor tiempo que el CPM.
- ✓ Al usar Fast Tracking se logra una mayor compresión del cronograma, esto debido a que es un proyecto lineal y presenta la ventaja de generar frentes de trabajos consecutivos, es decir trabajar paño por paño.
- ✓ Al usar Crashing se logra una reducción de cronograma menor al Fast Tracking. Esto debido a que se mantiene la relación inicio-inicio de las partidas, las modificaciones se dieron en las duraciones de las partidas al aumentar recursos.
- ✓ Si bien se logra compresiones considerables al usar Fast Tracking y Crashing, estos al ser usados en conjunto en un proyecto puede reducir aún mucho más el plazo del proyecto. Sin embargo, aumentarían los riesgos y los costos.
- ✓ Se concluye que para el proyecto de muros de contención presentado, la metodología más recomendable para la programación es la de la ruta crítica y luego aplicar Fast Tracking si es necesario.

5. BIBLIOGRAFÍA

- BIRT LH (2020). Planificación y control a muy corto plazo, Método Roy. Recuperado de https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/PPFM/PP/PP04/es_PP04_PP04_Contenidos/website_63_mtodo_roy.html
- Botero Botero, L. F., & Acevedo, H. (2011). Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. *Ingeniería y Ciencia - Ing.Cienc.*, 7(13), 29–45. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/399>
- BRAINBOK (2019). Crashing vs Fast Tracking. Difference between Crashing and Fast Tracking in Project Schedule Management. Recuperado de: <https://www.brainbok.com/guide/pmp/study-notes/crashing-vs-fast-tracking/>
- Carrera., A. K. G. (2019). *ELABORACIÓN DE CURVAS 'S' PATRÓN PARA PLANEACIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE AGUA POTABLE (CURVAS DE INVERSIÓN) EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA*. 53(9), 1–126.
- De Jesús, Anibelka, Lopez, Glenys y Gonzales, Joan (2012). CPM-PERT Aplicado a construcciones civiles. República Dominicana: Amigo del hogar, 2012.
- Dominguez, A. S. (2004). Métodos y técnicas de planeación y control de proyectos. *Programación, Planeación y Control de Una Obra, 1993*, 13–41.
- Enrique, C. (1974). *Programación y control por el método pert*. 5, 27–56.
- Espinal, T. L. (2013). Escuela de Organización Industrial. Obtenido de <https://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/14/metodo-de-ruta-critica-cpm-critical-path-method>
- Figuerola, N. (2010, noviembre). Técnicas para recuperar un Cronograma atrasado. PMQuality. Recuperado de <https://pmqlinkedin.wordpress.com/about/tecnicas-para-recuperar-un-cronograma-atrasado/>
- Fondahl, J. W. (1987). The history of modern project management. Precedence diagramming methods: origins and early development. *Project Management Journal*, 18(2), 33–36.

- García, B. & Ruiz, E. (2015). Impacto de la gestión en obra utilizando la programación de la cadena crítica en la construcción civil “Residencial Mostacero” en el distrito de Trujillo, ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad. Universidad Privada Antenor Orrego.
- García, M. (2014). Análisis de aplicabilidad y beneficios del método de la cadena crítica (CCPM) en proyectos de Ingeniería y Construcción. Santiago de Chile. Universidad de Chile.
- Invensis (2020). What is Precedence Diagramming Method in Project Management? Recuperado de <https://www.invensislearning.com/articles/pmp/precedence-diagramming-method>
- Lean Construction Blog (2016). Introduction to Location Based Management System: CPM on Steroids Combined with Flowline Visualization. Recuperado de Praxis (2014). Diagrama de Precedencia. Recuperado de <https://www.praxisframework.org/es/library/precedence-diagram>
- Loria Arcila, J. H. (2012). Programación de obras con la técnica de la línea de balance. Ai, 1–40.
- Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., & Fazar, W. (1959). Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations research*, 7(5), 646-669.
- Orihuela, P., & Esteves, D. (2013). Aplicación Del Método De La Línea De Balance a La Planificación Maestra. Encuentro Latino Americano de Gestión y Economía de La Contruccion., 1–10. <http://www.motiva.com.pe/>
- Padilla, J. (2016). Sistemas de organización y control de obra en la modernización de carreteras en Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Piñeiro Fernández, S. (1995). PERT y CPM: Programación y control de proyectos. *Cuadernos de Estudios Empresariales*, 5, 271–292. <https://doi.org/10.5209/CESE.11655>
- Praxis (2014). Diagrama de Precedencia. Recuperado de <https://www.praxisframework.org/es/library/precedence-diagram>
- Project 2080 (2020). Fast Tracking vs Crashing. Recuperado de <https://project2080.com/fast-tracking-vs-crashing/>
- Reynaga, R. (2018). *Evolución en la gestión de obras de los años '80 al 2017 - filosofía Lean*

Construcción. 177.

Rojas, G. & Reyes, S. (2019). Aplicación del PERT CPM para reducir el tiempo de ciclo del cierre de proyectos en la empresa Semi Perú Montajes S.A.C. Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.

Sanchez, J. (1997). Manual de programación y control de programas en obra. Universidad Nacional de Colombia.

Wolters Kluwer (s.f.). Método Roy. Recuperado de <https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es>

