

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA APLICADO AL CASCO
ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN ESCOLAR

Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLERA EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERIA CIVIL

AUTORA:

Chiara Naomi Castañeda Vilcara

Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERIA CIVIL

AUTOR:

Andres Martin, Rodriguez Alvarez

Shermam Oskar, Marín Santos

Sebastián Gabriel, Auca Farfán

Steven Javier, Ruiz Quintanilla

ASESOR:

Jose Felix Alejandro, Benavides Vargas

Lima, diciembre, 2020

RESUMEN

El diagrama de redes y ruta crítica es un método de planificación utilizado desde 1956 en diversos sectores, no solo en el de construcción. Su eficiencia y simplicidad ha sido tal que hasta la fecha actual se mantiene el uso de este método. Mediante la elaboración del presente documento, se quiere comprobar la capacidad de sintetización y orden que esta ofrece; así mismo, evaluar la eficiencia de aplicación en proyectos mayores a un nivel y constatar que es una excelente herramienta de control y seguimiento en proyectos de construcción.

Así mismo, el desarrollo de la investigación contempla la elaboración del diagrama de redes y ruta crítica para la etapa del casco estructural del proyecto de un pabellón escolar. Se plantean tres escenarios: bajo condiciones normales, con un retraso en partidas que afectan la duración total del proyecto y por último asumiendo de igual forma el retraso del segundo modelo, pero, reasignando recursos, modo tal que los rendimientos sean mayores y concluya el proyecto en el tiempo planificado (duración del primer modelo). Como resultados se obtuvieron los siguientes tiempos de ejecución: para el primer caso 146 días, para el segundo caso 150 días y para el tercer caso, de igual modo que el primero, 146 días. Cabe destacar que el estudio se apoya en el uso de programas informáticos de planificación como S10 y Project; los cuales permiten que la elaboración de este método sea sencilla y rápida, volviéndolo aún más eficaz y adaptable en el tiempo.

Palabras claves: Gestión, construcción, planificación

ÍNDICE ANALÍTICO

CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 LIMITACIONES Y ALCANCE	2
1.3.1 Limitaciones	3
1.3.2 Alcances	3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1 Las ideas de investigación.....	3
1.4.2 Hipótesis.....	4
1.4.3 Objetivos	4
1.5 METODOLOGÍA	5
1.5.1 Diseño de la investigación.....	5
1.5.2 Área de estudio	5
1.5.3 Técnica e instrumento de recolección de datos.....	6
CAPÍTULO 2	7
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.1 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	8
2.1.1 Características de la industria	9
2.1.1.1 Secuencial	9
2.1.1.2 Proyectos de vida corta.....	9
2.1.1.3 Trabajo volátil	10
2.1.1.4 Proceso de trabajo al aire libre	10
2.1.1.5 Metas de producción tangibles.....	10
2.1.1.6 Lugar de trabajo no permanente.....	11
2.1.1.7 Actividad de alto riesgo.....	11
2.1.2 Tipos de proyectos de construcción	11
2.1.3 Descripción de proyectos de construcción	12
2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE PROYECTO DE EDIFICACIÓN	12
2.2.1 Descripción etapa de planificación	13
2.2.1.1 Definición del objetivo.....	13
2.2.1.2 Definición del EDT y actividades	14
2.2.1.3 Definición de la secuencia de actividades.....	15

2.2.2 Descripción etapa ejecución	16
2.3 METODO DE LA RUTA CRÍTICA	18
2.3.1 Antecedentes	19
2.3.2 Definición	19
2.3.3 Aplicación en edificaciones	21
CAPÍTULO 3	22
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.1 DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA BAJO CONDICIONES NORMALES.....	26
3.2 DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA BAJO RETRASO EN DOS PARTIDAS CRITICAS	28
3.3 DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA REASIGNANDO RECURSOS EN DOS PARTIDAS.....	28
CAPÍTULO 4	30
Conclusiones y recomendaciones	30
4.1 CONCLUSIONES	31
4.2 RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Esquema de secuencia constructiva.....	9
Figura 2: Estructura de descomposición de trabajo de un programa.	14
Figura 3: Plano casco estructural planta típico.	23
Figura 4: Plano casco estructural azotea.	23
Figura 5: Cajetín de información por partida.....	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Estructura descompuesta de trabajo del casco estructural de una edificación educativa con sus unidades y metrados y rendimientos correspondientes.....	24
Tabla 2: Cuadro resumen de rendimientos por partidas.....	26
Tabla 3: Resumen de modificaciones de partidas de acero en placas y losas.	29



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es una de las actividades económicas más importantes y presentes a nivel mundial; a tal punto que, en Perú, este sector está fuertemente relacionado con el PBI; pues, es generador de empleo e inversiones tanto privada como pública. Con el paso del tiempo, esta rama presenta mayor competitividad, motivo por el cual, debe adaptarse a requerimientos más exigentes como: ejecución en menores plazos, menor uso de recursos y adaptación a las nuevas tecnologías. Ante ello, los involucrados con la gestión de proyectos, deben de adoptar buenas prácticas sean tradicionales o emergentes de planificación, con la finalidad de que la etapa de ejecución sea la más eficaz y rápida posible.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Con la elaboración de la investigación, se desea adicionar mayor información a la rama de gestión y planificación de obras de construcción, específicamente enfocado al tema de CPM (critical path method) motivo por el cual, esta presenta relevancia teórica. Así mismo, la investigación pretende dirigirse a todo aquel interesado o involucrado en área de gestión y planificación de proyectos, que desee implementar buenas prácticas en sus labores; por lo que, es de relevancia social. Finalmente, presenta relevancia práctica; ya que, a partir de la investigación se incita a poner en práctica este método mediante el uso de softwares como Project, con la finalidad de volver la tarea de planificación más rápida y eficaz.

1.3 LIMITACIONES Y ALCANCE

A fin de poder responder las hipótesis y lograr los objetivos planteados, se han determinado limitaciones y alcances que tomen en cuenta variables de tiempo, espacio y accesibilidad a la información.

1.3.1 Limitaciones

Debido al tiempo asignado para la elaboración de la presente investigación, se optó por desarrollar el diagrama de redes y ruta crítica, tomando en cuenta las partidas pertenecientes al casco estructural de un proyecto de edificación. Así mismo, debido a que la investigación se desarrolla en un contexto en el cual se ve afectado por una pandemia, esta se enfocará en una edificación de uso escolar; ya que, se cuenta con la información necesaria de esta.

1.3.2 Alcances

Debido a la experiencia con la que cuentan los desarrolladores de la investigación en el área de procesos constructivos de estructuras, se optó por enfocar la investigación en esta rama de la ingeniería. Así mismo, resulta conveniente hacer uso del programa MS. Project para la elaboración del diagrama de redes y la determinación de la ruta crítica; ya que, al ofrecer herramientas planeadas para esta labor, vuelve el trabajo más seguro, rápido y sencillo.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Las ideas de investigación

Entre los métodos de planificación de proyectos más comunes y antiguos, está el denominado CPM (Critical Path Method), el cual, se basa en la relación de actividades de un proyecto mediante un diagrama de redes; y haciendo uso de algoritmos adoptados por el método, se halla la ruta más larga o también denominada ruta crítica. El origen de este método se remonta al año 1956, donde una fábrica propietaria de múltiples plantas químicas deseaba controlar y optimizar los costos de operación de estas; a partir de ello, se plantearon los primeros principios

del CPM. Años más tarde este procedimiento se adaptaría a otras áreas; como el sector de la construcción, donde su uso es famoso y perdura en el tiempo (Jiménez, 2005).

1.4.2 Hipótesis

A partir de la idea descrita, se plantea la siguiente hipótesis principal.

Realizar el diagrama de redes y ruta crítica para un proyecto de edificación representa una buena práctica de planificación.

Así mismo, las hipótesis específicas que llevarán a confirmar lo planteado se presentan a continuación:

1. La elaboración de diagrama de redes permite sintetizar y relacionar de manera ordenada todas las actividades que comprenden la construcción del casco estructural de una edificación.
2. El desarrollo de la ruta crítica permite estimar el menor tiempo que tomará realizar un proyecto de construcción.
3. Ante retrasos en partidas críticas que afectan la duración total del proyecto, se puede finalizar en el tiempo planificado inicialmente (sin retrasos) mediante una reasignación de recursos.

1.4.3 Objetivos

El objetivo principal de la presente investigación es demostrar que el desarrollo de diagrama de redes y ruta crítica para un proyecto de edificación es una buena práctica para la planificación.

Por ende, los objetivos específicos a considerar son los siguientes.

1. Identificar los procesos y actividades necesarias para la construcción del casco estructural de una edificación escolar.
2. Determinar los tiempos de realización temprana, tardía y holgura cada actividad.
3. Realizar el diagrama de redes mediante programa MS. Project.
4. Determinar la ruta crítica para un proyecto de edificación.

1.5 METODOLOGÍA

En este acápite se esquematizará el procedimiento necesario para dar respuesta a las hipótesis planteadas en el acápite anterior y cumplir con los objetivos. Es por ello que, a continuación, se desarrollará mayor profundidad el diseño, enfoque, área de estudio, técnica de recolección de datos y herramientas utilizados, a fin de cumplir con lo mencionado.

1.5.1 Diseño de la investigación

El objetivo de la investigación es demostrar que el desarrollo de diagrama de redes y ruta crítica para un proyecto de construcción es una buena práctica para la planificación; por ello, el diseño de la investigación que mejor se adaptó al objetivo es cuantitativo fenomenológico. Ya que, variables como tiempo, precedencia de partidas y recursos fueron manipuladas a fin de llegar a modelos de ruta crítica; los cuales, se compararon y finalmente se procedió a describir el fenómeno investigado (Hernandez et al., 2014)

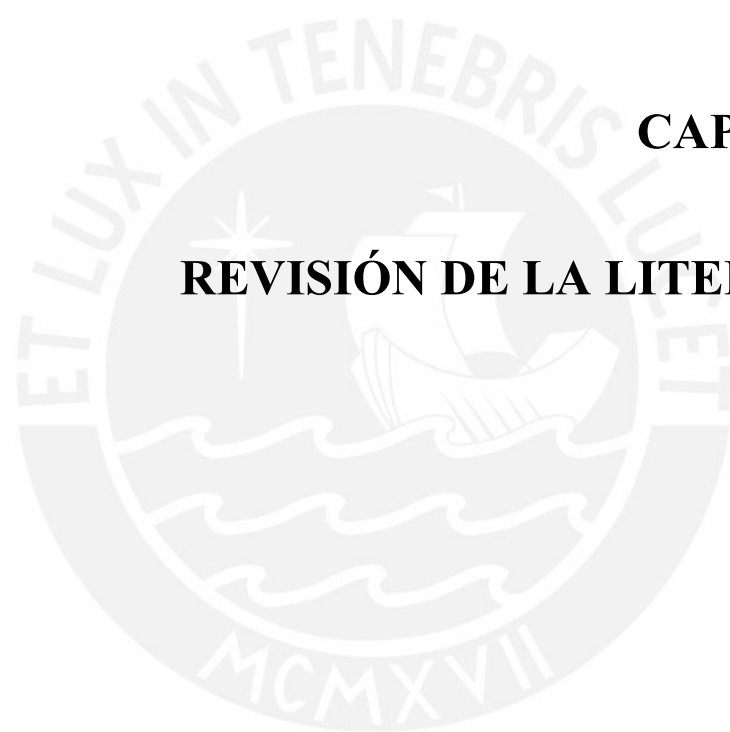
1.5.2 Área de estudio

La edificación sobre la cual gira la investigación, es una de clasificación educativa ubicada en el distrito de Puente Piedra, específicamente en la intersección de la avenida Los Lecaros y la Prolongación Chimpu Ocllo (calle San Pedro), esta presenta dos niveles y una azotea.

1.5.3 Técnica e instrumento de recolección de datos

Para la elaboración del diagrama de redes y ruta crítica se hizo uso del programa MS Project; para ello, con los rendimientos por partida y los metrados de los elementos del casco estructural, se determinaron los tiempos de trabajo. Luego, se procedió a enlistar las partidas en MS Project y se colocaron las duraciones respectivas calculadas en el paso anterior. Finalmente, se determinó la precedencia para cada partida en base a los procesos constructivos y la revisión de la literatura.

En cuanto a los modelos de diagrama de redes y ruta crítica a realizados para la investigación, se modelaron tres. Uno de ellos bajo condiciones normales; el segundo, asumiendo que se presentaron retrasos en dos partidas críticas, las cuales, incrementaron el tiempo de duración total de la construcción del casco estructural del proyecto; y el tercero, asumiendo el contexto del segundo modelo, con la diferencia de que se reasignaron los recursos; modo tal que, la ejecución de estas requirió menor tiempo. Finalmente, se evaluó si el tercer modelo logró finalizar en el tiempo planificado inicialmente; es decir, el plazo correspondiente al primer modelo.



CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

La industria de la construcción es el proceso completo desde la adquisición de la materia prima hasta la finalización de un proyecto a través de los distintos procesos constructivos que se llevan a cabo. Esta industria posee influencia en la economía de un país tanto a corto como a largo plazo, esto debido al impacto que genera en el resto de las actividades que se ven fuertemente ligadas a esta industria como los proveedores, la importación, la mano de obra, etc (Peralta & Serpell, 1991). Esto atrae la atención de la búsqueda de métodos de optimización de procesos constructivos y minimización de las pérdidas. Por ello, durante las últimas décadas, muchas investigaciones y empresas han buscado el fomentar la gestión y reducción de pérdidas (Yates, 2014). Esto porque los proyectos de construcción, a diferencia de los proyectos de manufactura, son realizados en cualquier lugar donde sea necesario; así mismo, estos demandan ser finalizados en el menor tiempo posible. A pesar de la importancia de este sector, hasta hace unos años, no existían investigaciones o desarrollo de técnicas para la mejora de los procesos involucrados en la industria de la construcción (Tucker, 2007); por este motivo, se creó el Construction Industry Institute; el cual nos brinda conceptos útiles.

Algunas particularidades de los proyectos de construcción, es el nivel de exigencia en términos de seguridad que se requieren cuando se realizan diversas actividades; además, estos son contruidos usando actividades en secuencia, y se generan retrasos de las actividades cuando existen predecesoras que no han sido completadas a tiempo (Yates, 2014). Por ello, el presente capítulo busca explicar algunas de las características más importantes de la industria, los tipos de proyectos de construcción y la descripción de algunos proyectos de construcción. Debido al alcance del presente trabajo, la descripción de proyectos estará orientado a los proyectos del sector de educación.

2.1.1 Características de la industria

2.1.1.1 Secuencial

Se sabe que la elaboración de cualquier proyecto de construcción está determinada por una secuencia de etapas y pasos que dependen uno del inmediato anterior para poder ser realizados. Por ello, se adaptaron las etapas propuestas por Peralta & Serpell (1991), y se elaboró el esquema de la Figura 1.

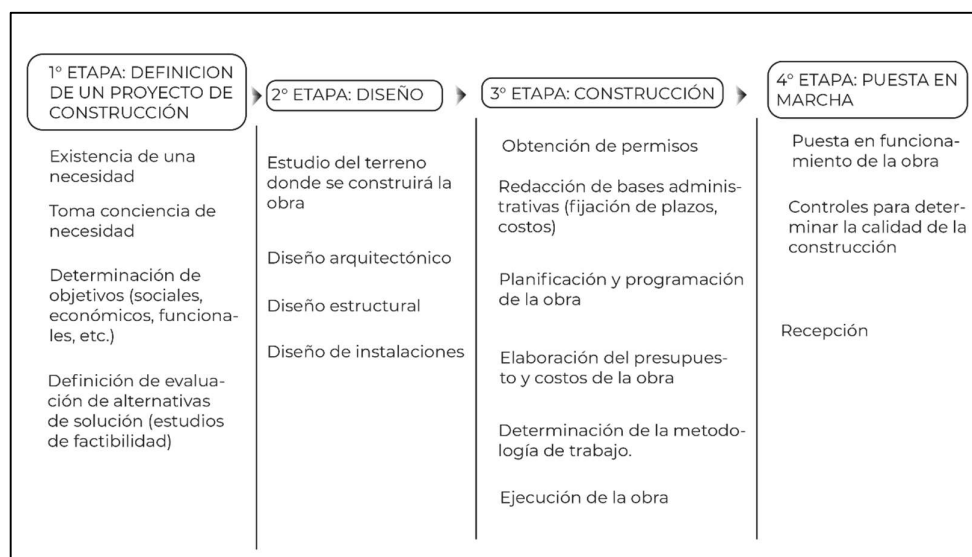


Figura 1: Esquema de secuencia constructiva. Adaptado de: Peralta y Serpell; 1991.

2.1.1.2 Proyectos de vida corta

Los proyectos de construcción presentan una vida proyectada relativamente corta; lo cual, incrementa la exigencia en este sector. Esto significa un factor decisivo y muy importante en aquellos encargados de ejecutar y administrar estos. A parte de la corta duración del trabajo, existe una alta presión en cada una de las etapas del proyecto. Entonces, en los proyectos de construcción se busca la más alta calidad de trabajos y para ello son necesarias técnicas de evaluación (Burati et al., 1991).

2.1.1.3 Trabajo volátil

El hecho de que la industria dependa de proyectos de construcción de corta duración significa la creación y disolución de trabajos de manera constante. Los trabajadores especializados dependen del ritmo de la empresa a la que pertenecen para poder percibir un sueldo continuo. Es a ellos que el estado económico de un país afecta directamente pues cuando la economía de un país crece, los proyectos son más grandes y se requiere de mayor cantidad de obreros. Por otro lado, en situación de crisis los obreros deben buscar cambiar constantemente de empresa en la que trabajan o deben darse de cese esperando que la situación de su nación mejore (Peralta & Serpell, 1991).

2.1.1.4 Proceso de trabajo al aire libre

A diferencia de otras industrias, las obras son construidas principalmente al “aire libre” lo cual significa una directa interacción con el clima y las condiciones estacionales de la locación en la que se encuentra el proyecto. Esto puede significar pérdida de tiempos y retrasos ocasionados por el intemperismo climático (Peralta & Serpell, 1991).

2.1.1.5 Metas de producción tangibles

Existen “hitos” que funcionan como hechos tangibles y reales a los cuales el proyecto aspira alcanzar según una cierta cantidad de tiempo transcurrido. Esto permite que los procesos y trabajos puedan ser medibles y se pueda registrar la velocidad de producción (Peralta & Serpell, 1991).

2.1.1.6 Lugar de trabajo no permanente

Los trabajos realizados deben obligatoriamente trasladarse. Esto hace referencia a que las fuerzas de trabajo deben movilizarse de manera vertical (para un edificio) o de manera horizontal (carretera) (Peralta & Serpell, 1991).

2.1.1.7 Actividad de alto riesgo

Las labores que se requieren en los proyectos representan un desgaste físico importante y pueden estar sujetos a un riesgo constante. Según Duhart et al.,1984 los riesgos asociados al trabajo de este sector productivo se deben a diversos motivos, entre los cuales tenemos: carácter variable que hace que los riesgos que surjan sean diversos; desprotección institucional; contratación de gran cantidad de personal no calificado durante períodos de ritmo intenso; e incorporación de tecnología sin capacitación adecuada (Peralta & Serpell, 1991).

2.1.2 Tipos de proyectos de construcción

Los tipos de construcción pueden clasificarse en: Obras de edificación como viviendas, edificios habitacionales y públicos (hospitales, oficinas, escuelas, establecimientos comerciales, etc.); obras civiles como Puertos, construcciones marítimas, puentes, caminos, túneles, represas, etc y obras industriales, relacionadas con el montaje de equipos e instalaciones de plantas procesadoras industriales (Peralta & Serpell, 1991).

Según el alcance del presente trabajo de investigación, se desarrolla con mayor énfasis los proyectos orientados al sector educación, el cual será detallado a continuación.

2.1.3 Descripción de proyectos de construcción

Todos los proyectos de construcción de una edificación presentan similitudes en cuanto a las fases constructivas. Estas fases serán explicadas más a detalle en los acápites siguientes. Sin embargo, es importante conocer algunas consideraciones previas y conceptuales sobre las obras de edificación que corresponden al sector educativo.

Al considerarse un lugar de encuentro para grandes grupos de personas, la norma E030 DISEÑO SISMORESISTENTE (2018), clasifica a las instituciones educativas como edificaciones esenciales lo cual influye considerablemente en los requerimientos y por ende en el diseño. Esto se debe a que las instituciones educativas albergan a público susceptible y en gran número. Además, en el caso de la ocurrencia de un evento sísmico, estas estructuras deben mantenerse en pie como posible refugio para la población afectada. En el siguiente acápite se abarcará los puntos correspondientes al proceso de construcción de una edificación.

2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE PROYECTO DE EDIFICACIÓN

Según el Project Management Institute (2017), el ciclo de vida de un proyecto comprende las fases que este atraviesa desde su inicio hasta su finalización. Dentro de la diversidad de proyectos, las etapas comunes que atraviesan son: Inicio; organización y preparación; ejecución del trabajo y finalización del proyecto. La presente investigación se enfoca en la etapa de organización y preparación; también conocida en el área de la construcción como la etapa de planificación; así mismo, para elaborar correctamente esta fase, se requiere de conocimientos previos de la etapa de ejecución de trabajo obtenida mediante la ejecución de obras similares pasadas. Es por ello que, en los siguientes acápites se detallará a mayor profundidad las etapas mencionadas.

2.2.1 Descripción etapa de planificación

Esta etapa tiene como objetivo el desarrollar un plan de gestión de proyecto en base a herramientas que permitan guiar y controlar el desarrollo del proyecto. En otras palabras, la planificación define: ¿Qué hacer? ¿Quién lo hará? ¿En cuánto tiempo se hará? Y ¿Cuánto costará? Estas preguntas se responden detalladamente en la definición de actividades y responsables; definición de secuencia de actividades; definición del tiempo y recursos para cada actividad; y finalmente, la programación y presupuesto.

Las etapas de planificación en la gestión de proyectos pueden dividirse en tres. La primera, basada en la definición del objetivo; la segunda, en la definición del EDT (estructura de descomposición del trabajo) y actividades; y la tercera, en la definición de secuencia de actividades. En los acápites siguientes se abordará cada etapa.

2.2.1.1 Definición del objetivo

El objetivo se puede definir fácilmente como el resultado esperado para un proyecto. En el libro “Gestión de Proyectos” de P. Lledó y G. Rivarola, se establecen características que deben poseer los objetivos; los cuales, deberían ser claros, realistas, temporales y mensurables. A continuación, se detallará cada característica.

Claros: Deben posibilitar que cualquier director competente pueda guiar el proyecto sin mayores inconvenientes.

Realista: Deben estar dentro de las restricciones de tiempo, alcance, recursos y calidad.

Temporales: Deben ser definidas con una fecha de inicio y de finalización.

Mensurables: Deben ser fáciles de medir para poder verificar el éxito en el cumplimiento del proyecto.

2.2.1.2 Definición del EDT y actividades

En esta segunda etapa, como su nombre lo menciona, será necesario definir la estructura de descomposición de trabajo (EDT) y las actividades que esta involucra. El propósito de la EDT es subdividir los entregables del proyecto y trabajo en componentes más pequeños y más fáciles de manejar. El beneficio de este proceso radica en la capacidad de poder obtener una visión estructurada de lo que se debe entregar (Institute, 2014 pág. 123); así mismo, poder identificar todas las tareas críticas necesarias para completar el alcance del proyecto. Cabe destacar que esta subdivisión se realiza hasta poder obtener el detalle suficiente para respaldar el desarrollo de las actividades; es decir, planificación, ejecución, control y cierre (Gestión de proyectos, 2007 pág. 29). A continuación, a modo de ejemplificar un EDT, se muestra un esquema en el cual se dividen partidas de trabajo de un programa.

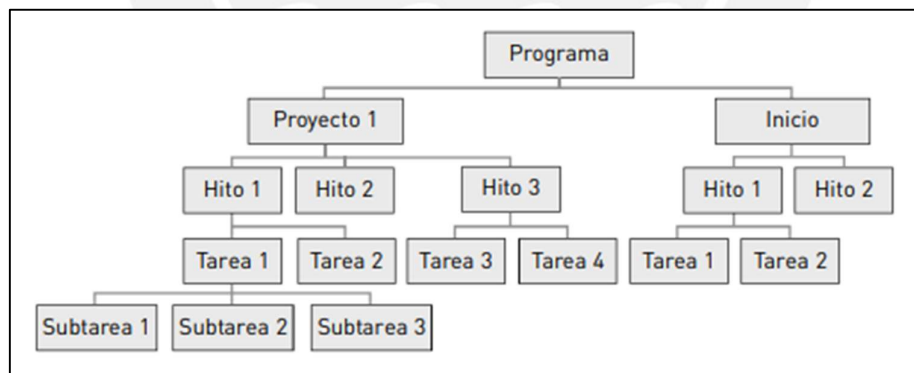


Figura 2: Estructura de descomposición de trabajo de un programa. Fuente: Gestión de proyectos, 2007.

Según lo observado en la figura 1, la correcta elaboración de un EDT está ligada al fraccionamiento de las actividades; para ello, se debe tener en cuenta: el nivel de detalle que se requiera; el nivel de responsabilidad que se pueda asignar a cada persona; y el

nivel de control que se ejercerá. Pues, a cada unidad de trabajo se le asignan recursos como materiales, cuadrillas y equipos. En consecuencia, es recomendable que personal relacionado a las actividades a realizar, den su opinión y recomendaciones respecto a la elaboración del EDT. Por lo que, realizar una matriz de responsabilidades es una buena práctica en esta etapa; pues permite definir el papel y responsabilidades de cada colaborador en relación a la elaboración del proyecto en su totalidad.

2.2.1.3 Definición de la secuencia de actividades

Finalmente, para la definición de la secuencia de actividades, se presentan dos técnicas; las cuales son las más utilizadas en la planificación de proyectos. La primera es el diagrama de redes y la segunda el diagrama de Gantt.

Respecto al primer método, este consiste en representar las actividades estableciendo un orden cronológico y representando la relación de precedencia entre ellas. Además, a fin de no complicar la red al momento de realizar la precedencia, se puede hacer uso de actividades ficticias; las cuales, no consumen tiempo ni recursos. Respecto a las actividades, estas pueden ser graficadas en flechas AOA (Activities on Arrows) o en nodos AON (Activities on Node) (Tune, 2001); así como, en formato libre sin escala fija; a fin de, mostrar apropiadamente las interconexiones de las actividades del proyecto (Morales, 2010). Debido al desarrollo masivo de los ordenadores y la posibilidad de implementar estas técnicas en ellos, se originó un auge en el desarrollo de redes mediante el método AON; el cual, elimina incompatibilidades relacionadas principalmente con la presencia de actividades ficticias; y, abrieron una amplia vía de investigación enfocada al perfeccionamiento de su empleo en soportes informáticos que hoy día continúan siendo investigados y actualizados (Tune, 2001).

Respecto a las características que el diagrama de redes debe cumplir; Luis Rincón, 2001 establece las siguientes reglas.

Regla 1: Cada actividad debe ser representada por un sólo arco en la red; ninguna puede disponerse más de una vez en esta. Diferente es el caso de una actividad que se descompone en segmento; los cuales, pueden estar representados por arcos separados. La colocación de una banda transportadora en un proceso de producción puede hacerse en secciones.

Regla 2: Dos actividades diferentes, aunque se ejecuten simultáneamente, no pueden identificarse con los mismos eventos de inicio y final.

Regla 3: Cada que se agrega una actividad a la red, se deben determinar las actividades que deben concluir antes de que esta inicie, así como, las actividades que deben seguir a esta actividad y aquellas que deben ejecutarse simultáneamente.

En relación al método de diagrama de Gantt, este es utilizado para asignar la secuencia de actividades, organizarlas y desplegar los datos de un proyecto. Se basa en un diagrama o gráfico de barras necesario para representar la ejecución o la producción total de un proyecto, ésta muestra la ocurrencia de actividades en paralelo o en serie en un determinado período de tiempo. Una ventaja importante de los gráficos Gantt es que ilustran claramente el solapamiento entre tareas planificadas. Sin embargo, a diferencia de los gráficos de redes, no presentan claramente la dependencia que existe entre tareas diferentes (Morales, 2010).

2.2.2 Descripción etapa ejecución

Para la realización de esta etapa, se debe realizar previamente la compatibilización de entregables realizada en la etapa de planificación, tomando en cuenta los estudios y planos

realizados; así como, las observaciones respectivas. Teniendo todo esto claro, tomando como referencia un proyecto de edificación de mediano tamaño elaborado por Carbonelli et al., 2019 y siguiendo recomendaciones de otro proyecto de edificación elaborado por Guillerhwa, 2010, se procederá a enlistar en orden descendiente las partidas correspondientes a la elaboración del casco estructural de una edificación.

Cabe destacar que la determinación de los plazos de duración de las partidas es referencial; pues, estos dependen de los recursos a utilizar, la cantidad de jornadas de trabajo, cantidad de mano de obra (cuadrillas) y rendimiento. Los cuales, son únicos para cada proyecto (Carbonelli et al., 2019).

A continuación, se describirán las partidas correspondientes al casco estructural de una edificación. Para ello, debido a la información de la edificación disponible, se considerará que el casco estructural está compuesto por elementos estructurales verticales; los cuales, hacen referencia a las placas y columnas; y los elementos estructurales horizontales, correspondientes a las losas y vigas (Moreno et al., 2019).

Armado de acero corrugado para elementos verticales: Esta actividad requiere como principales recursos los fierros de acero de medidas, grados y diámetros previamente calculados y la mano de obra.

Encofrados de elementos verticales: Esta actividad requiere de tableros de encofrado de madera como material; los cuales, funcionarán como molde al recibir el concreto y mano de obra.

Vaciado de concreto en los elementos verticales: Esta actividad requiere como principal recurso material el concreto; el cual previamente debe de haberse calculado su resistencia y volumen respectivo; y como segundo recurso la mano de obra correspondiente.

Curado de elementos verticales: En esta actividad se requiere de agua como principal recurso, el cual se empleará mediante el método de riego (aspersión).

Armado de acero corrugado para elementos horizontales: Esta actividad requiere como principales recursos los fierros de acero de medidas, grados y diámetros previamente calculados y la mano de obra.

Encofrados de elementos horizontales: Esta actividad requiere como material solo de tableros de encofrado de madera que; los cuales, se desempeñan como molde al recibir el concreto y mano de obra.

Colocación de instalaciones en elementos horizontales: Esta actividad requiere de los cableados y/o tuberías principales tanto para las instalaciones eléctricas y sanitarias respectivamente.

Vaciado de concreto en los elementos horizontales: Esta actividad requiere como principal recurso concreto; ya teniendo calculados su resistencia y volumen respectivos; y la mano de obra.

Curado de elementos verticales: Esta actividad requiere de agua como principal recurso para el curado, el cual será empleado mediante el método de riego (aspersión) para realizar la actividad.

2.3 METODO DE LA RUTA CRÍTICA

Los proyectos son procesos complejos que tienen dimensiones interconectadas como objetivos, tiempo, recursos y medio ambiente. El saber controlar estas dimensiones y tener una programación eficaz traen consigo el éxito del proyecto. El proceso de programación del proyecto involucra definir las actividades del proceso y establecer sus tiempos y recursos a utilizar. Procesos como el CPM ayudan a que estos procesos complejos se realicen de mejor manera y ayuden a lograr los objetivos del proyecto (Ali & Hanefi, 2018).

2.3.1 Antecedentes

El método de la ruta crítica (CPM por las siglas en inglés de Critical Path Method) fue desarrollado en 1957 en los Estados Unidos de América por la corporación DuPont, conjuntamente con la División UNIVAC de la Remington Rand. DuPont es una empresa multinacional estadounidense, que se dedica fundamentalmente a varias ramas industriales de la química, siendo destacada por distintos descubrimientos científicos. El método se desarrolló con el fin de tener el control y optimización de costos de operación. Todo esto se buscó mediante la planificación adecuada de las actividades que componían el proyecto de las plantas químicas de DuPont (Forenza & Wilde, 2013).

2.3.2 Definición

El CPM (critical path method) o método de la ruta crítica en español, es un método utilizado para estimar la duración mínima de un proyecto, así como determinar el nivel de flexibilidad en la programación de las rutas de red lógicas dentro del cronograma (Project Management Institute, 2013). Según Poggioli (1976), la ruta crítica se utiliza en escenarios de gestión de proyectos, es eficaz en su planeación y administración y facilita el manejo contable de la incertidumbre. El método tiene como finalidad enlistar las actividades a realizarse, las cuales tendrán una duración asignada, y estas duraciones deben tener un control especial. Al tener la lista de actividades y duraciones, se establecen puntos de inicio y fin lógicos, con lo que se podrá calcular el camino más largo (que viene a ser la duración mínima del proyecto) además de las holguras de las actividades no críticas (holgura igual a cero). Cabe resaltar que, si alguna de las actividades de la ruta crítica se retrasa, el proyecto entero se verá afectado por este hecho.

Entre las características más importantes del método CPM están que es un método determinativo; puesto a que, conoce los tiempos de duración de las actividades y se pueden cambiar variando el tipo de recursos utilizados. Esta es la principal diferencia entre el método CPM y PERT; el cual también es un método de planificación. Este último determina los tiempos de forma probabilística mediante fórmulas, lo cual es ideal cuando no se cuenta con la data de los tiempos de las partidas del proyecto a construir. Por otra parte, el método CPM considera a las actividades como continuas e interdependientes, las cuales siguen un orden cronológico y ofrecen parámetros del momento oportuno del inicio de la actividad (Huang et al., 1997).

Previo a la realización del CPM, se debe de secuenciar las actividades y estimar su respectiva duración; para ello, entre las herramientas más conocidas están el Diagrama de Redes y la estimación análoga (Project Management Institute, 2017). En este método se hacen uso flechas que simbolizan las actividades del proyecto, las cuales, son aquellas acciones por realizar, estas requieren de tiempo y recursos para su ejecución. El método de Diagrama de Redes define dos tipos de estas: Actividades reales, aquellas que poseen tiempo, recursos y costos mayor que cero, y corresponden a las tareas planificadas para el proyecto enunciadas en su forma más simple; y, actividades ficticias o virtuales, las cuales no consumen tiempo ni recursos, pero son requeridas para hacer una correcta indicación de procedencia. Así mismo, otros elementos importantes que forman parte de un diagrama de redes son los eventos. Estos son puntos en el tiempo que representan el inicio o fin de una actividad. Se separan entre sí por actividades, siendo instantes fijos que determinan la terminación de la etapa del proyecto o la iniciación de otra (Sánchez, 1997).

2.3.3 Aplicación en edificaciones

Respecto a la rama de construcción, para llevar a cabo de manera satisfactoria los proyectos, estos requieren de una adecuada planificación; lo cual, implica a su vez que se debe tener una correcta programación de obra, es decir, un proceso que ordena en el tiempo de forma lógica y secuencial las actividades necesarias para su ejecución. Lo mencionado, es muy importante, pues el manejo del tiempo es un factor determinante al momento de mapear la entrega del producto final. A partir de una buena planificación y programación, se pueden identificar qué tareas o actividades se ejecutan antes o después, cuales se pueden retrasar o adelantar y que ajustes se pueden realizar para aminorar costos y tiempos (Rey, 2015). Dentro de las técnicas de programación más utilizadas se tiene los Diagramas de Redes, a partir de los cuales se puede establecer una ruta crítica, como se explica en el acápite anterior. En resumen, la industria de la construcción ha sido muy beneficiada con métodos como el del camino crítico o CPM, puesto que estos métodos brindan un enfoque muy útil y preciso del control y planeación. A la vez, permiten tener una evaluación y comparación rápida de distintos programas de trabajo, métodos de construcción y tipos de equipos. Es importante mencionar que, para cada uno de los planes adoptados en el proyecto, los métodos mencionados ofrecen información confiable de los efectos de variación o retraso de cada uno de ellos, identificando las operaciones que requieren cambios (Derby et al., 2010).



CAPÍTULO 3
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de determinar los tiempos y precedencias de los tres modelos mencionados en la metodología, se presentará a continuación los planos correspondientes al casco estructural del piso típico de la edificación y su azotea. Así mismo, las partidas, sus metrados y rendimientos unitarios correspondientes, a partir de estas y con el número de cuadrilla por partida se realizarán los diagramas de redes y ruta crítica correspondientes.

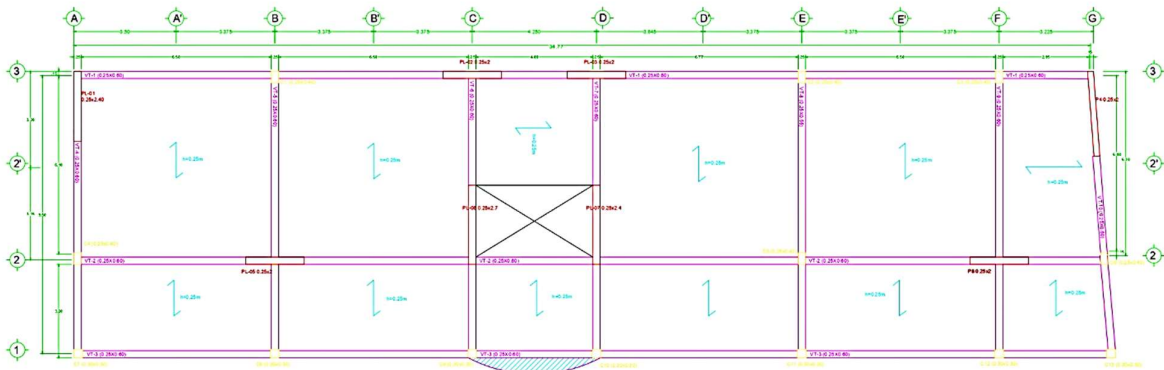


Figura 3: Plano casco estructural planta típico. Fuente: Propia

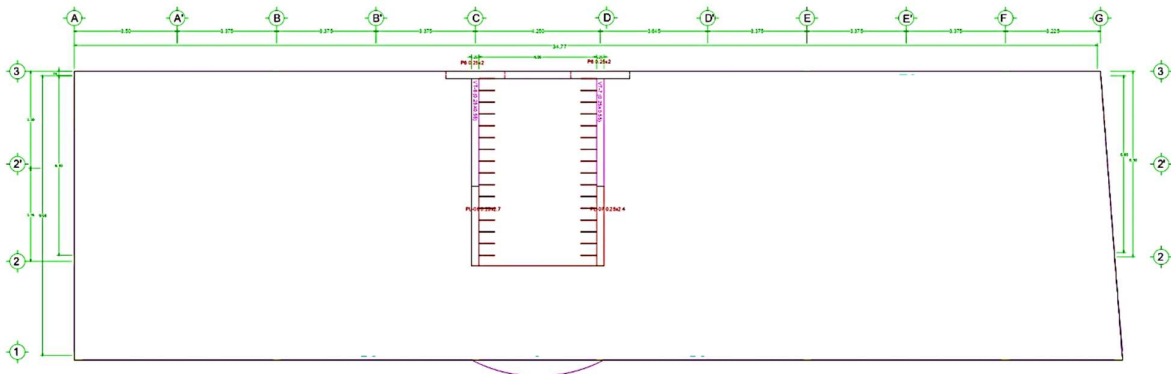


Figura 4: Plano casco estructural azotea. Fuente: Propia

Para el enlistado de las partidas del casco estructural se tomará en consideración desde la cimentación de la edificación, debido a que se cuenta con los metrados esta, ello corresponde a las zapatas y vigas de cimentación.

Tabla 1: Estructura descompuesta de trabajo del casco estructural de una edificación educativa con sus unidades y metrados y rendimientos correspondientes. Fuente: Propia.

EDT	Nombre de tarea	Unidad	Metrado	Rendimiento por unitario
1	<u>CASCO ESTRUCTURAL</u>			
1.1	ESTRUCTURAS NIVEL 1			
1.1.1	Zapatas N1			
1.1.1.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para zapatas	kg	3,501.00	200
1.1.1.2	Encofrado y desencofrado para zapatas	m ²	120.86	20
1.1.1.3	Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Zapatas	m ³	83.72	40
1.1.2	Vigas de cimentación N1			
1.1.2.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para viga de ciment	kg	104.32	200
1.1.2.2	Encofrado y desencofrado para vigas de cimentación	m ²	28.50	20
1.1.2.3	Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Vigas de cimentación	m ³	1.62	40
1.1.3	Placas de concreto N1			
1.1.3.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para placas	kg	2,403.80	200
1.1.3.2	Encofrado y desencofrado para placas	m ²	159.45	20
1.1.3.3	Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Placas	m ³	17.10	40
1.1.4	Columnas N1			
1.1.4.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para columnas	kg	659.55	200
1.1.4.2	Encofrado y desencofrado de columnas	m ²	63.18	20
1.1.4.3	Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Columna	m ³	4.83	40
1.1.5	Vigas N1			
1.1.5.1	Encofrado y desencofrado para vigas	m ²	194.46	20
1.1.5.2	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para vigas	kg	2,747.93	200
1.1.5.3	Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Viga	m ³	20.13	40
1.1.6	Losas aligeradas convencionales (H=25cm) N1			
1.1.6.1	Encofrado y desencofrado para losas	m ²	287.67	20
1.1.6.2	Ladrillo para techo H=15cm	Und	1,199.00	1600
1.1.6.3	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para losas	kg	2,668.06	200
1.1.6.4	Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Losas aligeradas	m ³	28.77	40
1.1.7	Muros de ladrillos N1			
1.1.7.1	Muros de lad. Kk 18 huecos, amarre soga	m ²	258.17	10

Continuación tabla 1

1.1.7.2	Tarrajeo muro int. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	m2	283.50	42
1.1.7.3	Tarrajeo muro ext. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	m2	232.80	42
1.1.8	Escaleras N1			
1.1.8.1	Encofrado y desencofrado para escaleras	m2	20.12	20
1.1.8.2	Acero fy=4200kg/cm2 para escaleras	kg	71.09	200
1.1.8.3	Concreto pre mezclado f'c=210kg/cm2 - Escalera	m3	6.89	50
1.2	ESTRUCTURAS NIVEL 2			
1.2.1	Placas de concreto N2			
1.2.1.1	Acero fy=4200 kg/cm2 para placas	kg	2,403.80	200
1.2.1.2	Encofrado y desencofrado para placas	m2	159.45	20
1.2.1.3	Concreto pre mezclado f'c=210kg/cm2 - Placas	m3	17.10	40
1.2.2	Columnas N2			
1.2.2.1	Acero fy=4200kg/cm2 para columnas	kg	659.55	200
1.2.2.2	Encofrado y desencofrado de columnas	m2	63.18	20
1.2.2.3	Concreto pre mezclado f'c=210kg/cm2 - Columna	m3	4.83	40
1.2.3	Vigas N2			
1.2.3.1	Encofrado y desencofrado para vigas	m2	194.46	20
1.2.3.2	Acero fy=4200kg/cm2 para vigas	kg	2,747.93	200
1.2.3.3	Concreto pre mezclado f'c=210kg/cm2 - Viga	m3	20.13	40
1.2.4	Losas aligeradas convencionales (H=25cm) N2			
1.2.4.1	Encofrado y desencofrado para losas	m2	287.67	20
1.2.4.2	Ladrillo para techo H=15cm	Und	1,199.00	1600
1.2.4.3	Acero fy=4200kg/cm2 para losas	kg	2,668.06	200
1.2.4.4	Concreto pre mezclado f'c=210kg/cm2 - Losas aligeradas	m3	28.77	40
1.2.5	Muros de ladrillos N2			
1.2.5.1	Muros de lad. Kk 18 huecos, amarre sogá	m2	258.17	10
1.2.5.2	Tarrajeo muro int. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	m2	283.50	42
1.2.5.3	Tarrajeo muro ext. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	m2	232.80	42
1.2.6	Escaleras N2			
1.2.6.1	Encofrado y desencofrado para escaleras	kg	20.12	20
1.2.6.2	Acero fy=4200kg/cm2 para escaleras	m2	71.09	200
1.2.6.3	Concreto pre mezclado f'c=210kg/cm2 - Escalera	m3	6.89	50

Continuación tabla 1

1.3	ESTRUCTURAS AZOTEA			
1.3.1	Muros de ladrillos Az			
1.3.1.1	Muros de lad. Kk 18 huecos, amarre sogá	m2	41.31	10
1.3.1.2	Tarrajeo muro int. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	m2	45.37	42
1.3.1.3	Tarrajeo muro ext. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	m2	37.25	42
1.3.2	Vigas Az			
1.3.2.1	Encofrado y desencofrado para vigas	m2	31.26	20
1.3.2.2	Acero $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ para vigas	kg	441.70	200
1.3.2.3	Concreto pre mezclado $f'c=210\text{kg/cm}^2$ - Viga	m3	3.24	40
1.3.3	Losas aligeradas convencionales (H=25cm) Az			
1.3.3.1	Encofrado y desencofrado para losas	m2	46.03	20
1.3.3.2	Ladrillo para techo H=15cm	und	192.00	1600
1.3.3.3	Acero $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ para losas	kg	426.89	200
1.3.3.4	Concreto pre mezclado $f'c=210\text{kg/cm}^2$ - Losas aligeradas	m3	4.60	40

3.1 DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA BAJO CONDICIONES NORMALES

Bajo condiciones normales, el número de cuadrillas y duración por partidas se muestra en la tabla siguiente (tabla 2) para el piso típico y azotea de la edificación educativa.

Tabla 2: Cuadro resumen de rendimientos por partidas. Fuente: Propia

Nombre de tarea	Cuadrilla	Duración por partida
CASCO ESTRUCTURAL		
ESTRUCTURAS PISO TÍPICO		
Zapatas		
Acero $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$ para zapatas	3	6
Encofrado y desencofrado para zapatas	2	4
Concreto pre mezclado $f'c=210\text{kg/cm}^2$ - Zapatas	2	2
Vigas de cimentación		
Acero $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ para viga de ciment	1	1
Encofrado y desencofrado para vigas de cimentación	1	2
Concreto pre mezclado $f'c=210\text{kg/cm}^2$ - Vigas de cimentación	1	1

Continuación tabla 2

Placas de concreto		
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para placas	3	5
Encofrado y desencofrado para placas	2	4
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Placas	1	1
Columnas		
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para columnas	2	2
Encofrado y desencofrado de columnas	2	2
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Columna	1	1
Vigas		
Encofrado y desencofrado para vigas	3	4
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para vigas	3	5
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Viga	1	1
Losas aligeradas convencionales (H=25cm)		
Encofrado y desencofrado para losas	3	5
Ladrillo para techo H=15cm	1	1
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para losas	3	5
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Losas aligeradas	1	1
Muros de ladrillos		
Muros de lad. Kk 18 huecos, amarre sogá	3	9
Tarrajeo muro int. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	2	4
Tarrajeo muro ext. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	2	3
Escaleras		
Encofrado y desencofrado para escaleras	1	2
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para escaleras	1	1
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Escalera	1	1
ESTRUCTURAS AZOTEA		
Muros de ladrillos Az		
Muros de lad. Kk 18 huecos, amarre sogá	3	2
Tarrajeo muro int. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	1	2
Tarrajeo muro ext. Frotachado mez C:A 1:5, e=1.5cm	1	1
Vigas Az		
Encofrado y desencofrado para vigas	1	2
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para vigas	1	3
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Viga	1	1
Losas aligeradas convencionales (H=25cm) Az		
Encofrado y desencofrado para losas	1	3
Ladrillo para techo H=15cm	1	1
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para losas	1	3
Concreto pre mezclado $f'c=210$ kg/cm ² - Losas aligeradas	1	1

La duración por partida se calcula haciendo uso de la fórmula $Tiempo = \frac{metrado}{Rendimiento \times \#partidas}$. A partir de ello, se establece la precedencia de las actividades y se procede a graficar el diagrama de redes. Finalmente, las partidas con holguras equivalentes a 0 forman parte de la ruta crítica del proyecto (representada de color rojo), este esquema se mostrará en el anexo A del presente documento.

Como se puede observar, la ejecución del proyecto dura 61 días, siendo las tareas críticas; es decir tareas donde se presentan las partidas críticas, la ejecución de placas, vigas y losas aligeradas. Así pues, las partidas que forman parte de la ruta crítica son mayormente el encofrado y desencofrado de los elementos estructurales; y el vaciado de concreto.

3.2 DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA BAJO RETRASO EN DOS PARTIDAS CRITICAS

Para la elaboración de este segundo modelo, se supondrá que se generó un retraso de dos días en las partidas correspondientes al vaciado de placas; y al encofrado y desencofrado de la losa aligerada del primer nivel. Con lo cual la duración de la primera partida será de tres días y la segunda siete días. En resumen, con los retrasos en las partidas mencionadas, la duración total del proyecto se vería retrasada en cuatro días, con lo cual la nueva duración correspondería a 65 días. Esta modificación se realizó mediante el programa MS Project rectificando el número de días del primer modelo. En el Anexo B, se adjunta el nuevo diagrama de redes y ruta crítica, con las partidas retrasadas representadas de color naranja.

3.3 DIAGRAMA DE REDES Y RUTA CRÍTICA REASIGNANDO RECURSOS EN DOS PARTIDAS

Con la finalidad de culminar el proyecto en el plazo planificado en un inicio (61 días), se optó por modificar el número de cuadrillas por partida, modo tal que el rendimiento global de las

partidas de acero de losa aligerada (primer nivel) y acero de placas (segundo nivel) incremente y, por ende, se logre completar el trabajo en menor cantidad de días (tabla 3).

En el caso de las partidas de acero mencionadas, se optó por incrementar el número de cuadrillas original en dos respectivamente, por lo tanto, el nuevo número de cuadrillas por partida corresponderá a cinco; con ello, la duración por partida será de tres días. Según el modelo, ambas partidas son pertenecientes a la ruta crítica del proyecto por lo que, el plazo total del proyecto se vería afectado.

Finalmente, con la reasignación de recursos mencionada párrafos anteriores, se logró culminar en el tiempo estimado inicialmente sin retrasos (61 días). Ello se presenta en el anexo C y las partidas modificadas se presentan en color verde.

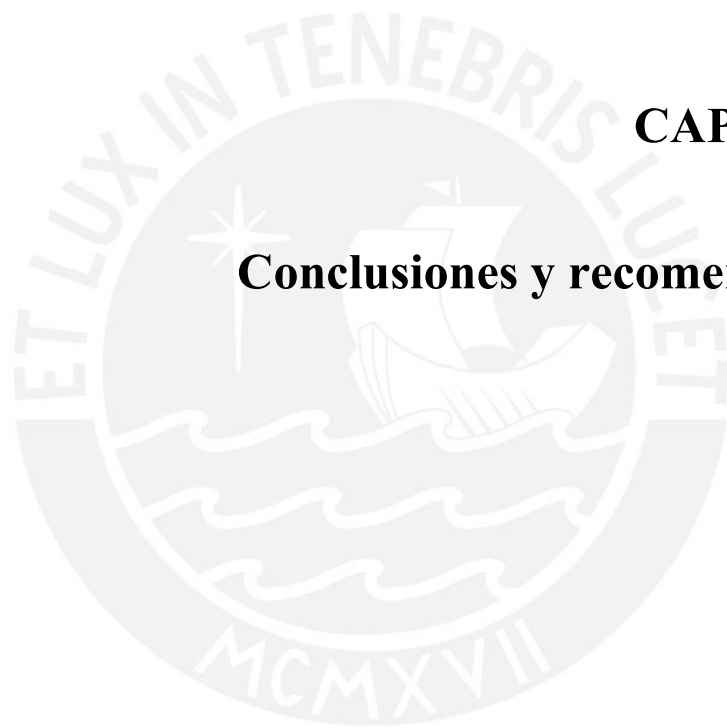
Tabla 3: Resumen de modificaciones de partidas de acero en placas y losas. Fuente: Castañeda, 2020.

Nombre de tarea	Unidad	Metrado	Rendimiento unitario	# cuadrilla original	Nuevo # de cuadrilla	Nueva duración por partida
CASCO ESTRUCTURAL						
ESTRUCTURAS PISO TÍPICO						
Placas de concreto						
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para placas	kg	2,403.80	200	3	5	3
Losas aligeradas convencionales (H=25cm)						
Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para losas	kg	2,668.06	200	3	5	3

Respecto a los tres modelos se puede observar que, ante cambios en la duración de algunas partidas, el camino de la ruta crítica varía. Esto es debido a que la holgura también se altera como se puede observar en los cajetines de los anexos B y C respecto al A; por lo tanto, al variar las holguras, las rutas críticas también cambian su dirección.

CAPÍTULO 4

Conclusiones y recomendaciones



4.1 CONCLUSIONES

Según los modelos de diagrama de redes y ruta crítica, se determina que, ante un retraso en alguna partida que pudiese afectar la duración total del proyecto, este aún puede culminar en el tiempo planificado (sin retrasos) mediante la reasignación de recursos, específicamente el aumento de cuadrillas por partida, los cuales influyen en el rendimiento global de estas.

Así mismo, se observa que el incremento del rendimiento global de las partidas no solo afecta en la duración; sino también, en el financiamiento y planificación de adquisición de materiales por parte del equipo de logística; pues, se debe contar con mayor cantidad de materiales en un menor periodo de tiempo; así como, mayor cantidad de personal. Por lo tanto, el área de logística ante retrasos debe de contar con un plan de emergencia a fin de realizar la adquisición de la nueva cantidad de recursos en el menor tiempo posible; de lo contrario, el proyecto continuara fuera del plazo estimado.

Por otra parte, respecto al diagrama de redes, en el caso del proyecto investigado el cual comprende de dos niveles y una azotea, la visualización de las partidas y sus predecesoras en su totalidad es compleja. Sin embargo, se concluye que mediante el diagrama de redes y ruta crítica se puede obtener una visualización más simple y resumida de las partidas; ya que, al ser un método gráfico, resulta más sencillo observar la conexión de las partidas mediante flechas, ayudando así a distintas especialidades y agentes externos como proveedores a identificar sus actividades, contradicciones y omisiones.

Por lo tanto, realizar el seguimiento y analizar futuras modificaciones resulta ser una tarea más eficaz y sencilla visto a que este método además de presentar flechas, muestra información resumida en los cajetines pertenecientes a cada partida (figura 5) y su ruta crítica según la holgura. Es decir, con la información brindada no hay necesidad de acelerar todas las

actividades para poder cumplir el plazo planificado, solo aquellas que pertenecen a la ruta crítica y afectan al plazo final.

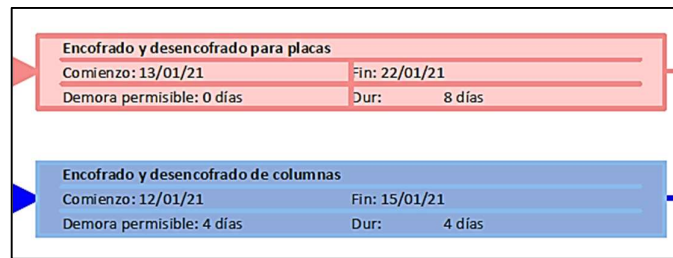


Figura 5: Cajetín de información por partida. Fuente: Propia,2020

Finalmente, se determina que el uso de softwares de programación como MS Project son de gran ayuda para la elaboración de diagrama de redes y ruta crítica, sobre todo cuando se desea modificar la duración o precedencia de alguna actividad como es el caso de la presente investigación. Esto es debido a que, para realizar el diagrama de redes en MS Project, el programa solo necesita como datos de entrada la lista de partidas por niveles, las precedencias y finalmente las duraciones. Los cálculos y análisis posteriores son parte de la función del programa los cuales no presentan error. En conclusión, se determina que el uso de softwares de programación son un excelente complemento a la técnica de diagrama de redes y ruta crítica.

4.2 RECOMENDACIONES

Con fines de ampliar más el campo de la investigación referente al tema, se recomienda realizar el mismo estudio haciendo uso de diagramas Gantt y determinar las ventajas y desventajas entre ambos métodos. Así mismo, tomando en cuenta los avances de la rama de gestión de la construcción, se recomienda realizar un estudio comparativo entre el método tradicional (diagrama de redes y diagrama Gantt) con el método confiable (planificación en tres niveles) y determinar cuál de estos es más efectivo y preciso.

Así mismo, se sugiere que en todo proyecto de construcción se realice además de la programación de obra, la ruta crítica de esta; puesto a que, se pueden analizar la factibilidad de aplazar o adelantar actividades de acuerdo a un fin.

Finalmente, se recomienda que para tareas de programación de obras se haga uso de Softwares especializados como MS Project, pues brinda grandes beneficios en el control y seguimiento de obras al ser un programa especializado para dicho fin; así mismo, permite que la realización de tareas referentes a la planificación, como diagrama de redes, Gantt, entre otras, sea más sencilla, rápida y sin errores.



REFERENCIAS



- Ali & Hanefi. (2018). Optimization of Project Scheduling Activities in Dynamic CPM and PERT Networks Using Genetic Algorithms. [Artículo]. Recuperado de chrome-extension://dagcmkpagjilhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Farxiv.org%2Fpdf%2F1902.00659
- Burati, J., Matthews, M., & Kalidindi, S. (1991). Quality Management in Construction Industry. *J. Constr. Eng. Manage.*
- Carbonelli, V., Portocarrero, L., y Reyes, J. (2019). Diseño de un edificio multifamiliar de 4 pisos y un semisótano en el distrito de villa el salvador (tesis de pregrado). *Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.*
- Claver Gil, J., Muñoz Hernández, J., Sanz Lobera, A., Sebastián Pérez, M. (2013). Análisis comparativo de alternativas en la ubicación de actividades en la planificación de proyectos mediante diagramas de red. *17th International Congress on Project Management and Engineering.*
- Guillergua, G. (2010). Proyecto inmobiliario de vivienda multifamiliar "la unión de mancha y" planificación y parámetros de control del plazo de ejecución de obra (tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.*
- Derby et al. (2010). *Método del camino crítico-CPM-PERT.* [Artículo]. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/revista-metodo-camino-critico/revista-metodo-camino-critico.pdf>
- Duhart, S. (1984). Diez años de régimen militar: Efectos sobre los trabajadores de la construcción. Documento de trabajo N° 35, Programa de Economía del Trabajo (P.E.T.), *Academia de Humanismo Cristiano.*

- Forenza & Wilde. (2013). *Programación de obras*. [Artículo]. Recuperado de <https://docplayer.es/8627819-Programacion-de-obras.html>
- Hernández, R., Fernández, & C., Baptista, Pilar. (2014). *Metodología de la investigación*. (Sexta Edición, pp.4-589). México, D.F.: McGraw-Hill
- Huang, G. H., Baetz, B. W., & Patry, G. G. (1997). Development of a grey critical path method for construction planning. *Engineering Optimization+ A35*, 28(3), 157-174.
- Institute, Project Management. 2014. Estándar de practica para la estructura de descomposición del trabajo - Segunda edición (Reafirmada).
- Jiménez Trejo, J. (2005). Novedoso procedimiento de ruta crítica enfocado a la construcción, administración para el diseño. *Departamento de Procesos y Técnicas de Realización*, p. 74-92
- Lledó, Pablo & Rivarola, Gustavo (2007). *Gestión de Proyectos*. Buenos Aires: Prentice Hall – Pearson Education.
- Morales, Ramón (2010). *Administración de operaciones (administración y control de proyectos)*.
- Moreno, J., Páucar, N., y Solano, J. (2019). Dirección del proyecto “construcción de casco estructural del edificio GK aplicando estándares globales del PMI®” (tesis de maestría). *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú*.
- Palacios, S. P. I., & Rubio, K. L. A. (2003). Guía para la elaboración de una investigación cualitativa. *Universidad Autónoma de Tamaulipas*.
- Peralta, A., & Serpell, A. (1991). Características de la Industria de la Construcción. *Revista Ingeniería y Construcción*.

- Project Management Institute (2017), *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* (6ta edición). Pennsylvania, EEUU: Project Management Institute, Inc.
- Rincón, L. (2001). Investigación de operaciones para ingenierías y administración de empresas. *Universidad Nacional de Colombia. Cali, Colombia.*
- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 355-2018-VIVIENDA. (2018). Modifican la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú.
- Rey, M. X. (2015). *Planeación y programación para la construcción de la vía “Puente Delicia-San Isidro” aplicando el método de la ruta crítica CPM.* Recuperado de http://186.3.32.121/bitstream/48000/5026/1/TTUAIC_2015_IC_CD0085.pdf
- Sanchez. (1997). *Manual de programación y control de programas de obra.* [Manual]. Recuperado de <https://civiliestph.files.wordpress.com/2016/08/manual-de-programac3b3n-y-control-de-programa-de-obras-julio-sanchez.pdf>
- Tucker, R. (2007). Construction Industry Institute. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT.*
- Yates, J. K. (2014). *Productivity Improvement for Construction and Engineering.*



ANEXOS



ANEXO A

Diagrama de redes y ruta crítica

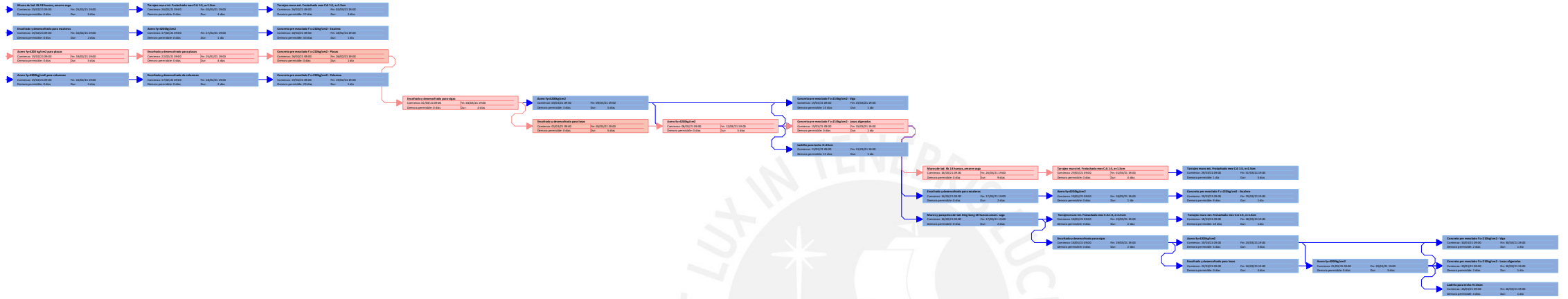
Bajo condiciones normales



ANEXO B

Diagrama de redes y ruta crítica

Bajo retraso en dos partidas criticas





ANEXO C

Diagrama de redes y ruta crítica

Reasignando recursos en dos partidas

