

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE REDES Y LA RUTA CRÍTICA PARA EL
PROYECTO DE UN CENTRO EDUCATIVO**

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

AUTORES:

Huarcaya Soto, Susana Vanessa del Pilar

Pérez Denegri, Jorge Eduardo

Quispe Jihuallanca, Steve Brihan

Torres Romero, Claudia Karina

Zevallos Oyague, Adriana Nicole

ASESOR:

Benavides Vargas, José Félix Alejandro

Lima, diciembre, 2020

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se basa en el desarrollo y la ejecución del diagrama de redes y la ruta crítica aplicada en un centro educativo. Dicho centro educativo, es un proyecto elaborado desde el estudio de mecánica de suelos hasta el desarrollo de las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones eléctricas y sanitarias.

Se espera que este trabajo de investigación sirva como guía para todos aquellos que deseen aprender sobre esta herramienta y puedan aplicarlo en distintos proyectos, pues se podría afirmar que este método es indispensable para la optimización de estos. De esta manera se aporta al conocimiento de los planificadores del proyecto y se resalta la importancia de emplear buenas prácticas para los mismos.

El trabajo de investigación consta de una revisión de la literatura sobre el diagrama de redes y el método de la ruta crítica, así como la aplicación de esta metodología en el proyecto de un centro educativo. Es por ello por lo que en la primera parte se elabora el marco teórico en el que se define la planificación del proyecto y se explica sobre el diagrama de flechas y la ruta crítica con su debido procedimiento. Asimismo, se detallan los elementos que la componen como sus respectivas actividades y la secuencia de estas. Es importante mencionar que, para poder detallar adecuadamente este procedimiento, se explican sus fases, las cuales son: operación, planeación y programación y ejecución y control.

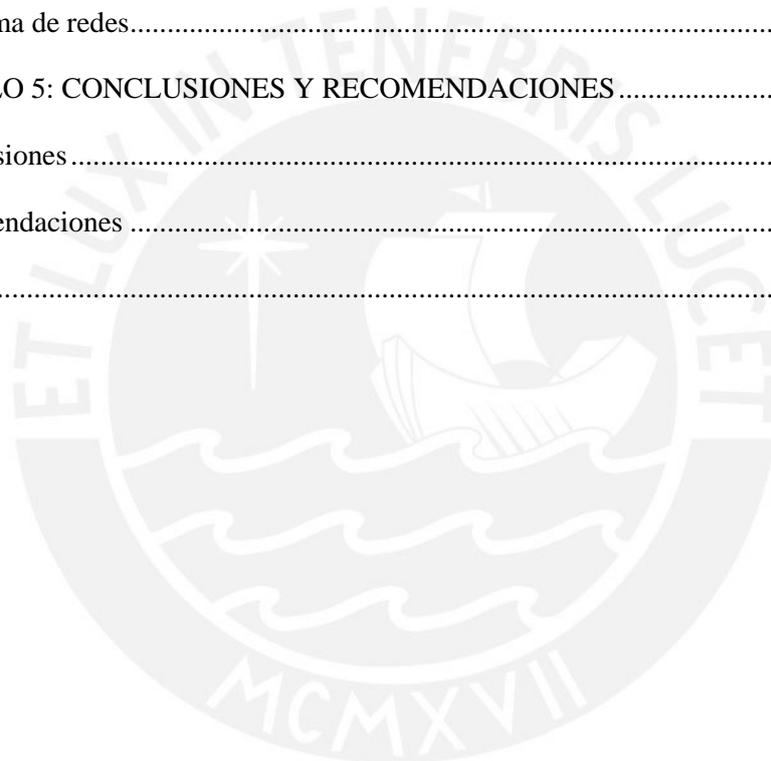
En la segunda parte del presente trabajo, se describe y detallan los alcances del proyecto, relacionados a la ubicación y extensión del mismo. Asimismo, se especifica la herramienta a utilizar, en este caso el software MS Project, en donde se introducirá la lista de actividades, la matriz de secuencias y matriz de tiempos con la finalidad de obtener la ruta crítica del proyecto.

Finalmente, se obtendrá la duración total del proyecto, actividades críticas y ruta crítica, lo que permitirá sacar conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Índice

RESUMEN	i
Lista de figuras.....	iv
Lista de tablas	iv
1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Alcance	2
1.4. Objetivos	2
1.4.1. Objetivo general.....	2
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Metodología	3
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Planificación de obras	4
2.1.1. Planificación del proyecto de un centro educativo.....	4
2.2. Método CPM.....	9
2.2.1. Ruta crítica	9
2.2.2. Partes constitutivas de la ruta crítica en la red	10
2.2.3. Fases de la operación de la ruta crítica.....	11
2.2.4. Definición del proyecto.....	13
2.2.5. Lista de actividades.....	13
2.2.6. Matriz de secuencias	13
2.2.7. Matriz de tiempos.....	16
2.2.8. Red de actividades	18
2.2.9. Camino crítico.....	23
3. CAPÍTULO 3: APLICACIÓN EN EL CENTRO EDUCATIVO N°32.....	24
3.1. Descripción del proyecto	24
3.2. Alcance del proyecto.....	25

3.3.	Herramientas para utilizar	26
3.3.1.	Funciones	26
3.3.2.	Ventajas y desventajas	26
3.4.	Lista de actividades	29
3.5.	Matriz de secuencia de actividades	30
3.6.	Matriz de tiempos	31
4.	CAPÍTULO 4: PROGRAMACIÓN Y RESULTADOS	33
4.1.	Programación	33
4.2.	Diagrama de redes.....	33
5.	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
5.1.	Conclusiones	38
5.2.	Recomendaciones	39
	REFERENCIAS	40



Lista de figuras

<i>Ilustración 1: Actividades reales y ficticias</i>	7
<i>Ilustración 2: Representación de actividades en diagrama de flechas</i>	9
<i>Ilustración 3: Matriz de antecedentes</i>	14
<i>Ilustración 4: Matriz de secuencias</i>	15
<i>Ilustración 5: Matriz de secuencias</i>	16
<i>Ilustración 6: Matriz de tiempo</i>	17
<i>Ilustración 7: Matriz de información</i>	18
<i>Ilustración 8: Actividades de la ruta crítica</i>	19
<i>Ilustración 9: Diagrama de red</i>	20
<i>Ilustración 10: Diagrama de red</i>	22
<i>Ilustración 11: Diagrama de red</i>	23
<i>Ilustración 12: Diagrama de red</i>	24

Lista de tablas

<i>Tabla 1: Actividades del diagrama de red</i>	21
<i>Tabla 2: Lista de actividades del proyecto</i>	29
<i>Tabla 3: Matriz de secuencia de actividades</i>	30
<i>Tabla 4: Rendimientos de cada actividad</i>	31
<i>Tabla 5: Matriz de tiempos</i>	32

Lista de gráficos

<i>Gráfico 1: Esquema de metodología</i>	3
<i>Gráfico 2: Estructura de descomposición del trabajo</i>	28
<i>Gráfico 3: Diagrama de redes</i>	35
<i>Gráfico 4: Ruta crítica – Especialidad Estructuras</i>	36
<i>Gráfico 5: Ruta crítica del proyecto</i>	37

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción

Para realizar la adecuada planificación de un proyecto es necesario establecer de manera organizada las actividades que lo constituyen y su dependencia entre ellas; debido a que estos trabajos permitirán establecer el costo y la duración del proyecto. Por consiguiente, influyen en diversos aspectos de este, tales como: Factores administrativos, técnicos, financieros, entre otros.

Con el pasar del tiempo, la industria ha evolucionado considerablemente, creando diversas herramientas y técnicas para realizar y controlar elementos que influyen en la gestión de proyectos. Entre dichas herramientas se encuentra el diagrama de redes, el cual permitirá esquematizar y planificar las actividades que conformen el proyecto. Esto se complementa con la ruta crítica, la cual permite estimar la duración más corta del proyecto. Dichos métodos, se han vuelto indispensables en todos los proyectos de construcción, pues al calcular el camino más corto del proyecto, permitirá optimizar recursos y disminuir costos.

Lo anterior permite tener una visión clara del proyecto en construcción y permite determinar cada actividad y su respectiva duración, lo cual da una ventaja al momento de la ejecución dándole un valor agregado al proyecto.

Los métodos utilizados para llegar a realizar la ruta crítica cuentan con tres partes esenciales en todo el proyecto. Se inicia con la etapa de planeamiento en la cual se descomponen las actividades y se construye el diagrama de red mostrando las relaciones de dependencia y el tiempo de duración de cada actividad. Luego inicia la etapa de programación en la cual se determinan los tiempos de inicio y fin de cada partida, definiendo la holgura en cada una de ellas. Finalmente, se realiza la etapa de control en la cual se usa el diagrama antes realizado para generar reportes y actualizar el mismo si es necesario.

El presente proyecto de investigación surge a fin de aplicar el diagrama de redes y método de ruta crítica a un proyecto de un centro educativo. Esto con el objetivo de determinar el menor tiempo de duración de cada partida generando finalmente una reducción en los costos del proyecto. Asimismo, la realización del diagrama de redes permitirá llevar un control de cada actividad, determinado las esenciales para no perjudicar el avance de la obra.

1.2. Justificación

Al desarrollar el diagrama de redes se podrá identificar la duración mínima del proyecto denominada ruta crítica, con lo cual se podrá controlar el cronograma y ejecución de las actividades que influirán directamente en la finalización de la obra del centro educativo (PMBOK, 2017). Asimismo, se puede controlar aquellas actividades que no perjudiquen la ejecución del proyecto así presenten retrasos o adelantos.

1.3. Alcance

En primer lugar, se desarrollará la base teórica del diagrama de redes y el método de la ruta crítica, donde se explicarán las partes que conforman este diagrama y el procedimiento del método. Luego, se aplicará esta teoría en el proyecto del Centro Educativo ubicado en el distrito Puente Piedra, departamento y provincia de Lima. Dicho proyecto se elaboró desde el estudio de mecánica de suelos hasta el diseño de todas las especialidades tales como arquitectura, estructuras e instalaciones. En base al conocimiento previo se realizó el trabajo de costos y presupuestos donde también se realizó la programación del proyecto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

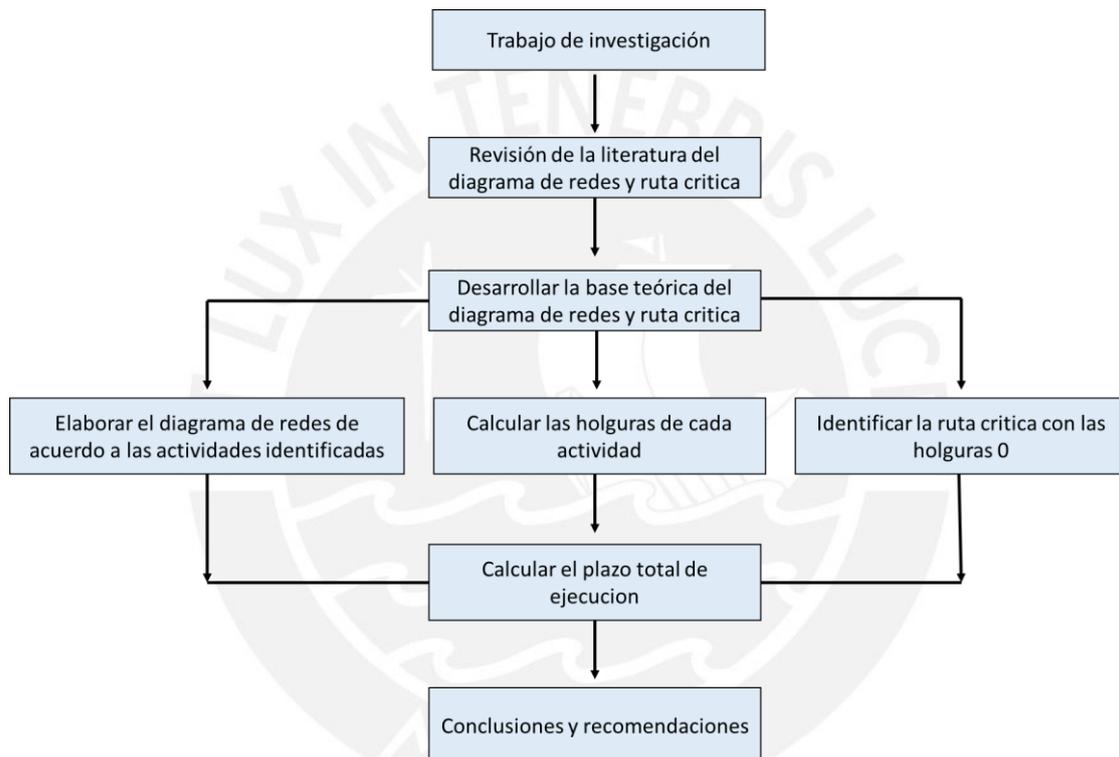
Analizar y desarrollar la metodología del Diagrama de Redes para determinar la ruta crítica de un proyecto de construcción.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar e identificar las actividades del proyecto que se incluirán en el diagrama de redes.
- Diseñar el diagrama de redes con el fin de identificar la ruta crítica del proyecto.

1.5. Metodología

Gráfico 1: Esquema de metodología



Como primer paso, se realizará la revisión de la literatura del diagrama de redes y ruta crítica para luego desarrollar la base teórica. Una vez detalladas las partes que conforman el diagrama y el procedimiento de la ruta crítica, se procede a aplicarlo al proyecto del “centro educativo N° 32”. Para ello, se establecerán las actividades principales y predecesoras del proyecto, incluyendo su duración.

Además, se calculará la holgura de cada actividad, se elaborará el diagrama de redes y se identificará la ruta crítica. Con ello se podrá calcular el tiempo de ejecución del proyecto.

Finalmente se elaborarán las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Planificación de obras

Es la actividad que, por naturaleza, busca asignar y distribuir recursos con el fin de lograr un objetivo. La planificación de obra consiste en analizar las tareas desde lo general a lo particular. Así el concepto de planificación explica que este es el primer paso por ejecutar antes de la iniciación de un proyecto, pues de no realizarlo, aumenta la posibilidad de cometer errores e incrementar los riesgos de no conseguir los objetivos trazados. Por otro lado, la programación de actividades es el proceso que le sigue a la planificación cuyo objetivo es concretar las operaciones. (Terrazas, 2011). Es decir, “la programación es la herramienta ejecutora de la planificación” (Terrazas, 2011).

2.1.1. Planificación del proyecto de un centro educativo

Como objetivo de la presente investigación se analizará la ruta crítica del proyecto la cual forma parte de la programación de este, subsecuente a la planificación. Para ello, se hará referencia a una de las áreas de conocimiento de un reconocido libro de dirección de proyectos llamado Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Esta área se denomina gestión del cronograma del proyecto e incluye los procesos que se requieren para lograr culminarlo, además, se centra en la definición de las actividades, su secuencia y su duración (Mattos y Valderrama, 2014). Es importante mencionar que la planificación de un proyecto abarca diversas áreas como la definición del alcance, la gestión de riesgos, la definición de los involucrados, entre otros. Sin embargo, como se analizará la ruta crítica es preciso comentar sobre el cronograma. El PMBOK sexta edición (2017), describe los siguientes procesos de Gestión del Cronograma:

Planificar la gestión del cronograma: Consiste en determinar los procedimientos y entregables necesarios para planificar, elaborar, gestionar, ejecutar y monitorear el cronograma del proyecto.

Definir las actividades: Proceso para la determinación de los trabajos que se deben realizar para el proyecto.

Secuenciar las actividades: Determina las relaciones entre las actividades del proyecto.

Estimar la duración de las actividades: Elabora un estimado del tiempo que tomará cada trabajo para cumplir con las actividades, respetando los recursos del proyecto

Desarrollar el cronograma: Consiste en analizar la secuencia de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones para elaborar el cronograma y llevar el respectivo control.

Controlar el cronograma: Consiste en llevar a cabo la supervisión del avance del proyecto con el fin de mantener actualizado el cronograma y realizar los ajustes correspondientes.

Todos los procesos mencionados anteriormente, servirán para la elaboración del cronograma de manera adecuada y en base a ello poder definir la ruta crítica.

Métodos de Ordenamiento

Para el desarrollo de un proyecto, existen métodos para lograr la finalidad de una actividad. Tres de los métodos de ordenamiento más conocidos en la industria de la construcción son el método PERT, el método CPM y el método de representación gráfica.

- **Método CPM**

El método CPM se orienta exclusivamente hacia las actividades, se basa en determinar la duración de estas con precisión. Una de sus principales ventajas es que permite llevar un control sobre el tiempo y el costo de cada partida, lo cual permite una planificación

adecuada del proyecto. (Universidad de Barcelona, S.F). Este método es recomendado para obras de construcción debido a su confiabilidad.

- **Método PERT**

Por otro lado, el método PERT, está orientado hacia la creación de eventos realizando estimaciones de tiempo. Sin embargo, las estimaciones obtenidas utilizando este método no suelen ser tan precisas debido a que se apoyan en métodos probabilísticos.

La metodología PERT relaciona el tiempo y el costo de manera directamente proporcional, es decir si aumenta el tiempo de una actividad aumenta también el costo y viceversa. Por lo anterior lo primordial de este método es controlar el tiempo de manera que se reduzcan los gastos. (Universidad de Barcelona, S.F). Este método es recomendado para proyectos de investigación donde el error de cálculo en tiempos no supone una pérdida para determinada empresa.

- **Representación gráfica de los métodos de ordenamiento**

Este método es de mucha utilidad para representar el mejor camino para lograr la planificación de un proyecto de forma rápida y concisa, de manera que el cliente o espectador lo entienda sin dificultad. La representación gráfica se basa en mostrar la secuencia de actividades y su determinada duración. (Mejía, 2016)

Para la representación gráfica se pueden usar gráficas como el diagrama de flechas o diagramas de GANTT (diagrama de precedencia). En este apartado en particular se explicará el diagrama de flechas debido a que se trabajará con dicho modelo.

- ❖ **Diagrama de flechas**

Este diagrama es la representación gráfica de las actividades que conforman el proyecto según su orden de ejecución y su interdependencia. Está constituido por dos elementos importantes según lo describe Sánchez en 1997. Estos son las actividades y los eventos.

Las actividades son aquellos trabajos que se realizan en el proyecto durante un tiempo definido. Para el caso del presente proyecto, por ejemplo, algunas de estas actividades son: encofrado de columnas, vaciado de losas, colocación de acabados, entre otros. Además, pueden ser reales o ficticias, en el caso de las primeras, se necesitan recursos materiales, económicos, mano de obra y entre otros para su ejecución. Para las actividades ficticias, también conocidas como virtuales, no se necesita de recursos, pues sirven únicamente para definir el orden de precedencias de los trabajos.

Como en los diagramas de flechas no pueden incluirse dos actividades en un solo nodo, se utilizan las actividades virtuales. Por ejemplo, las actividades A, C B y E representadas por líneas continuas son consideradas como actividades reales. Mientras, aquella representada por la flecha discontinua, es la actividad ficticia “D”.

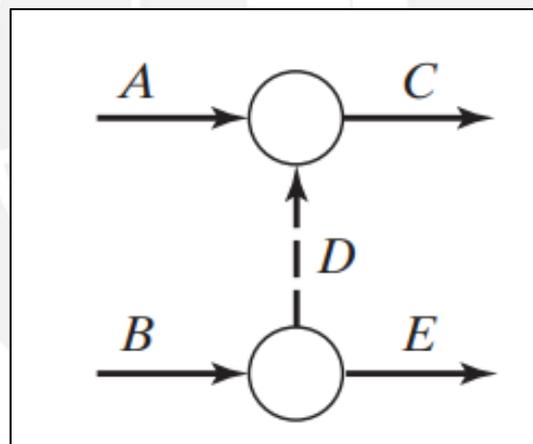


Ilustración 1:Actividades reales y ficticias

Extraído del libro Investigación de operaciones (Taha H, 2012)

Por otro lado, en el diagrama se representan los eventos como nodos, los cuales representan el comienzo y el final de las actividades. Con estos elementos se puede delimitar el inicio o la culminación de alguna etapa del proyecto.

A continuación, se presentan algunas consideraciones que se deben tener en cuenta para realizar un adecuado diagrama de flechas (Sanchez, 1997):

- Las actividades suelen nombrarse con letras y se deben colocar encima de las flechas.
- Debajo de las flechas se debe colocar la duración de cada actividad.
- Las actividades no podrán representarse más de una vez en el diagrama de redes.
- Las actividades podrían iniciar en el mismo nodo, pero deben culminar en distintos. También, podrían iniciar en distintos nodos y culminar en el mismo.
- Se debe incluir actividades ficticias para evitar que dos actividades o más inicien y finalicen en el mismo evento.
- Se debe reconocer las actividades que preceden y dependen unas de otras. También, conocer cuales se pueden realizar en simultáneo.
- Se debe reconocer aquellas actividades que pueden ejecutarse en simultaneo, colocándolo paralelo.
- La punta de cada flecha establece el avance del proyecto.

Existen actividades que deben realizar sí o sí previo al inicio de otras y se deben plasmar en el diagrama de flechas. Las actividades y sus predecesoras se esquematizan de la siguiente manera:

Actividad	Precedencia
A	B,C
B	D
C	E

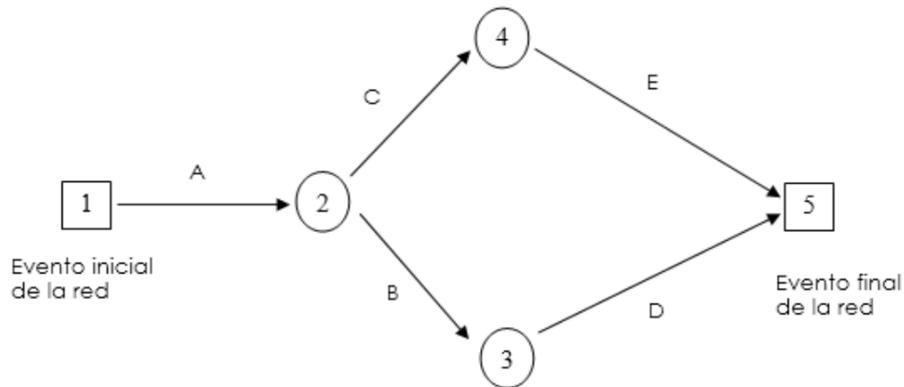


Ilustración 2: Representación de actividades en diagrama de flechas

Extraído de Sánchez (1997)

2.2. Método CPM

El Critical path method es conocido como “CPM” por sus siglas en inglés, también se conoce como el método de la ruta crítica. De acuerdo con el PMBOK (2017), este método sirve para calcular la duración más corta del proyecto. Como parte de esta técnica se debe analizar el cronograma y definir las fechas de inicio y finalización de cada actividad ya sean anticipadas o tardías.

2.2.1. Ruta crítica

El método de la ruta crítica es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de las actividades que forman parte de un determinado proyecto, con el fin de culminarlas en un tiempo establecido y al menor costo posible. El método mencionado, se considera extenso debido a que es adaptable a cualquier proyecto y flexible a las características de estos. (Montaño,2000).

El resultado de implementar la ruta crítica es obtener un cronograma perfectamente diseñado en el cual se pueda estimar la duración y lograr clasificar cada actividad según su orden crítico. (Salazar,2019)

Con ayuda de este método se logra esquematizar las actividades que conforman el proyecto, diferenciando el tipo de relación entre cada una. Tiene como objetivo determinar la duración de un proyecto, así como la duración de cada una de las actividades implicadas. A continuación, se presentan los pasos a seguir de dicho método.

- Identificar las actividades involucradas en el proyecto.
- Definir la relación de precedencia entre las actividades.
- Elaborar un diagrama que conecte las actividades y el orden en el cual deben ser realizadas.
- Definir el tiempo crítico y el costo estimado para cada actividad.
- Identificar la ruta crítica siguiendo el camino de las actividades con holgura igual a cero.

2.2.2. Partes constitutivas de la ruta crítica en la red

- **Actividades:** Como se explicó previamente, existen actividades reales y ficticias. Las primeras son consideradas como el trabajo necesario para el proyecto y la segunda solo sirve para indicar la precedencia de actividades, no supone de recursos o tiempo.
- **Eventos:** También conocido como nodo, indica el comienzo o la finalización de una actividad para cierto instante de tiempo.
- **Holgura:** También conocida como margen, es el tiempo que puede extenderse o retrasarse cierta actividad sin perjudicar la finalización del proyecto.
- **Hitos:** Evento o actividad importante del proyecto, su duración es cero.
- **Ramas:** Constituyen en diagrama de red para indicar las actividades que conforman el proyecto.

- Ligas: Tiempo hasta iniciar la siguiente actividad, por ello, denota la precedencia de las actividades.

2.2.3. Fases de la operación de la ruta crítica

Como se mencionó, la ruta crítica es una herramienta cuyo objetivo es optimizar el proyecto mediante la definición del tiempo más corto para culminarlo. Por ello, la operación de dicha herramienta se puede dividir en dos fases importantes: Planeación y programación; Ejecución y control. Montaña (2000), en su libro describe las fases de operación del método, que serán explicados a continuación:

- Fase de planeación y programación:

Es la fase inicial, donde se identifican las distintas actividades que serán parte del proyecto, se estima la duración de cada una de ellas, su relación, y se procede a construir un diagrama de redes o flechas. En estos diagramas se detallan los trabajos a realizar, lo que optimiza la planificación del proyecto, pues sirve como elementos de apoyo visual y se pueden realizar las modificaciones pertinentes antes de iniciar la ejecución del proyecto. Cabe señalar, que en esta etapa se especificarán las actividades críticas y no críticas del proyecto, es decir, se podrá identificar la duración estimada del proyecto y las holguras que podrían existir en caso algunas actividades se retrasen. (Montaña, 2000)

Esta primera fase se compone de las siguientes etapas:

- a. Definición del proyecto
- b. Lista de actividades
- c. Matriz de secuencias
- d. Matriz de tiempos
- e. Red de actividades

- f. Costos y pendientes
- g. Compresión en la red
- h. Limitaciones de tiempo, de recursos y económicas
- i. Matriz de elasticidad
- j. Probabilidad de retraso

Esta fase finaliza cuando todos los involucrados en el proyecto han definido adecuadamente los costos, el plazo y los recursos en función a la ruta crítica del mismo.

- **Fase de ejecución y control:**

Es la fase final de la dirección de proyectos. En esta fase, se utilizan los diagramas de red ya realizados en la etapa anterior y se controla el desarrollo del proyecto mediante reportes del progreso de este. Asimismo, en caso sea necesario, se podrá modificar y actualizar el diagrama de red. (Montaño, 2000)

Esta segunda fase se compone de las siguientes etapas:

- a. Aprobación del proyecto
- b. Órdenes de trabajo
- c. Gráficas de control
- d. Reportes y análisis de los avances
- e. Toma de decisiones y ajustes

Esta fase culmina cuando la última actividad del proyecto se encuentra finalizada.

Es importante mencionar que las fases descritas anteriormente y sus componentes son parte del método adecuado para definir el camino crítico del proyecto. Sin embargo, como parte de esta investigación se simplifican aquellos componentes a fin de mostrar únicamente la

programación que lleva a la ruta crítica. Es decir, los recursos, costos y entre otros, ya fueron calculados anteriormente como parte de la gestión de costos del proyecto. En los siguientes apartados se describirá cada uno de los componentes de cada fase que serán utilizados para la investigación.

2.2.4. Definición del proyecto

“Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMBOK, 2017). Por consiguiente, se entiende que es una actividad que supone del esfuerzo de todos los involucrados a fin de satisfacer las necesidades del que lo solicite, por lo que es necesario establecer su finalidad, aceptación, rentabilidad, entre otros.

2.2.5. Lista de actividades

Esta sección hace referencia a las actividades físicas y mentales (construcciones, trámites, estudios, dibujos, inspecciones, etc.) que constituyen los procesos conectados en un proyecto. Dicha información es obtenida de los miembros que intervienen en la ejecución de este.

Este paso es importante debido a que se listan todas las actividades a realizar, es preferible hacer el listado en orden de ejecución con el fin de evitar que se deje de lado alguna. Cabe resaltar que no es necesario detallar la cantidad de trabajo ni la cantidad de involucrados en la partida.

Se define una actividad como una serie de operaciones en la que están involucradas una cantidad de personas que trabajan en forma continua, definiendo un tiempo de inicio y fin. Esto permite que el responsable del proceso elabore un presupuesto en el que se detalle el material usado, la mano de obra, las condiciones de trabajo, los costos adicionales, etc. (Montaño, 2000).

2.2.6. Matriz de secuencias

La matriz de secuencias ayuda a entender el proyecto en un orden lógico. Se puede disponer esta matriz en función a los antecedentes y secuencias. Estos dos últimos se explican a

continuación en base a lo explicado por Montaña (2000), en su libro “Iniciación al método del camino crítico”

A. Por antecedentes:

El responsable debe dar a conocer cuáles son las actividades que deben culminar previo al inicio de otra. Se debe tener en cuenta que cada actividad debe tener un antecedente exceptuando las primeras, que poseen un antecedente igual a cero. En la siguiente figura se muestran aquellas actividades que requieren del término de una actividad previa para comenzar. Esta representación se denomina matriz de antecedentes.

<i>Actividad</i>	<i>Antecedente</i>	<i>Anotaciones</i>
1	0	
2	1	
3	2	3, 14, 20 simultáneas
4	3	
5	4, 21	
6	5	
7	6, 22	
8	7	final
9	3, 14, 20	
10	9	
11	10	
12	0	
13	12	
14	13	
15	14	
16	15	
17	16	
18	0	
19	18	
20	19	
21	20	
22	23	
23	21	

Ilustración 3: Matriz de antecedentes

Extraído de Iniciación al método del camino crítico. Montaña,2000

Para lograr una matriz de secuencias, se debe trasponer la matriz de antecedentes, es decir, invertir el orden de las columnas. Los valores de la columna de antecedentes deben pasar a la izquierda ahora como “actividades” y los valores de la columna de actividades debe ser pasada

a la derecha bajo el nombre de “secuencias”. Es necesario realizar este cambio debido a que se necesita la matriz de secuencias para realizar el diagrama de flechas y dibujar el diagrama de red.

A continuación, se presenta un ejemplo de transposición de ambas matrices:

<i>Actividad</i>	<i>Secuencias</i>	<i>Anotaciones</i>
0	1, 12, 18	
1	2	
2	3	
3	4, 9	3, 14, 20 simultáneas
4	5	
5	6	
6	7	
7	8	
8	—	final
9	10	
10	11	
11	—	
12	13	
13	14	
14	15	
15	16	
16	17	
17	6	
18	19	
19	20	
20	21	
21	5, 23	
22	7	
23	22	

Ilustración 4: Matriz de secuencias

Extraído de Iniciación al método del camino crítico. Montaña, 2000

B. Por secuencias:

En este procedimiento, para llegar a la matriz, los responsables encargados de la ejecución del proyecto deben determinar cuáles son las actividades que deben hacerse al terminar las otras actividades de la lista. Se debe iniciar la matriz con la actividad cero que indicará el punto de partida, siguiendo cada actividad sin dejar de lado ninguna.

Cabe resaltar que la matriz no es definitiva ya que usualmente se realizan ajustes posteriores de acuerdo con distintos factores.

<i>Actividad</i>	<i>Secuencias</i>	<i>Anotaciones</i>
0	1, 12, 18	
1	2	
2	3	
3	4, 9	3, 14, 20 simultáneas
4	5	
5	6	
6	7	
7	8	
8	—	final
9	10	
10	11	
11	—	
12	13	
13	14	
14	15	
15	16	
16	17	
17	6	
18	19	
19	20	
20	21	
21	5, 23	
22	7	
23	22	

Ilustración 5: Matriz de secuencias

Extraído de Iniciación al método del camino crítico. Montaña, 2000

2.2.7. Matriz de tiempos

Para obtener la matriz de tiempo, según Montaña (2000), son necesarias tres cantidades estimadas:

Tiempo medio (M): Tiempo normal que se requiere para realizar una actividad, basado en la experiencia del personal.

Tiempo optimista (O): Mínimo tiempo posible que se requiere para realizar la actividad, no conoce de costos, ni materiales, ni mano de obra, etc.

Tiempo pesimista (P): Tiempo grande que involucra retrasos, falta de suministro, consecuencias excepcionales, etc. No incluye tiempos de ocio.

Los tiempos antes mencionados, servirán para encontrar un tiempo promedio denominado tiempo estándar (t).

$$t = \frac{O + 4M + P}{6}$$

<i>Actividad</i>	<i>o</i>	<i>M</i>	<i>p</i>	<i>t</i>
1	1	2	4	3
2	1	1	1	1
3	0	0	0	0
4	2	2	2	2
5	4	6	8	6
6	2	4	5	4
7	2	5	11	6
8	0	0	0	0
9	5	7	8	7
10	2	2	2	2
11	10	12	14	12
12	1	2	4	3
13	1	1	1	1
14	0	0	0	0
15	1	2	4	3
16	4	6	8	6
17	1	2	3	2
18	1	2	4	3
19	1	1	1	1
20	0	0	0	0
21	5	6	7	6
22	3	4	5	4
23	2	3	4	3

Ilustración 6: Matriz de tiempo

Extraído de Iniciación al método del camino crítico. Montaña,2000

Finalmente, ambas matrices (secuencias y tiempo) se unirán en una sola con el fin de generar una matriz de información que permitirá la elaboración del diagrama de redes.

<i>Actividad</i>	<i>Secuencias</i>	<i>t</i>
0	1, 12, 18	—
1	2	3
2	3	1
3	4,9	0
4	5	2
5	6	6
6	7	4
7	8	6
8	—	0
9	10	7
10	11	2
11	—	12
12	13	3
13	14	1
14	15	0
15	16	3
16	17	6
17	6	2
18	19	3
19	20	1
20	21	0
21	5, 23	6
22	7	4
23	22	3

Ilustración 7: Matriz de información

Extraído de Iniciación al método del camino crítico. Montaña,2000

2.2.8. Red de actividades

La red de actividades, también conocida como el diagrama de flechas, explicado anteriormente, es el esquema gráfico que contiene la ruta crítica y sus partes constitutivas, entre ellas: los eventos, secuencias e interrelaciones. Como menciona Montaña (2000), las actividades se denotan por una flecha que inicia y termina en dos eventos distintos. A continuación, se explicará el proceso para realizar dicho diagrama.

Mediante flechas se presentan a las actividades y mediante círculos se identifican los eventos pertenecientes al proyecto. Esta combinación de círculos y flechas conforman el diagrama de red y se establece la secuencia de actividades, permitiendo identificar la relación de dependencia que podría existir entre una actividad con otra. En el libro “Principios de

administración de operaciones”, Heizer y Barry (2009) explican la secuencia de actividades mediante los gráficos presentados a continuación:

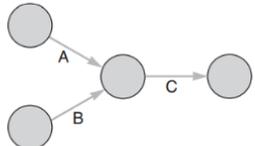
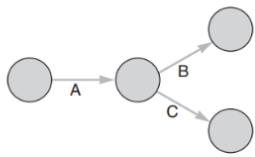
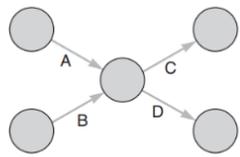
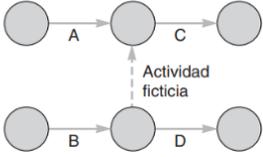
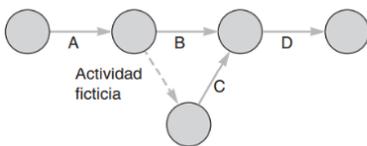
Significado de la actividad	Actividades en las flechas (AEF)
A ocurre antes que B, que ocurre antes que C.	
A y B deben terminar antes de que C pueda iniciar.	
B y C no pueden comenzar hasta que A esté terminada.	
C y D no pueden comenzar hasta que A y B terminen.	
C no puede comenzar si A y B no han terminado; D no puede iniciar sino hasta que concluya B. En AEF se introduce una actividad ficticia.	
B y C no pueden comenzar sino hasta que termine A. D no puede iniciar si B y C no terminan. De nuevo se introduce una actividad ficticia en AEF.	

Ilustración 8: Actividades de la ruta crítica

Extraído de Iniciación al método del camino crítico. Montaña,2000

Como se observa en la imagen anterior, se deben diferenciar actividades ficticias (líneas punteadas), aquellas que convergen, divergen, y en general se suele numerar los eventos (nodos) a fin de conocer el inicio y fin de cada actividad. Luego de ello, se debe señalar los plazos de cada actividad para mostrar la ruta crítica del proyecto y el total de su duración. Cabe resaltar cuatro tiempos importantes para ello:

- Inicio temprano: Es el inicio normal de la actividad. También se conoce como adelantado o más temprano.

- Inicio tardío: Es el máximo plazo que puede tardar una actividad para iniciar.
- Terminación temprana: Es la terminación normal de la actividad. También se conoce como adelantado o más temprano.
- Terminación tardía: Es el máximo plazo que puede demorar una actividad para finalizar.

Es importante establecer aquellas actividades que puedan presentar adelantos (inicios adelantado) y retrasos (culminación tardía) para diseñar la red.

A. Inicio adelantado:

Es lo primero que se calcula en una red y se parte con el primer evento. A continuación, se presentará un ejemplo adaptado del Manual de Programación y Control del Programa de Obras, escrito por Julio Sánchez en 1997.

- Como primer paso, se debe elaborar la red y determinar los tiempos de duración de cada actividad.

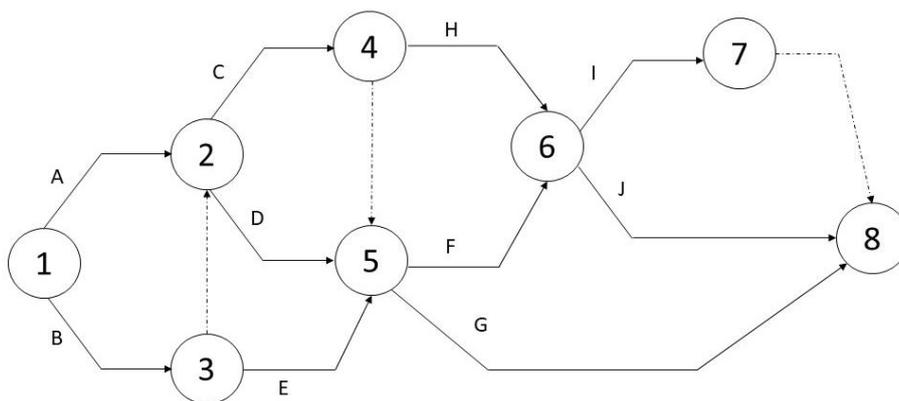


Ilustración 9: Diagrama de red

Extraído de Manual de programación y control de programas de Obra. Sánchez, 1997

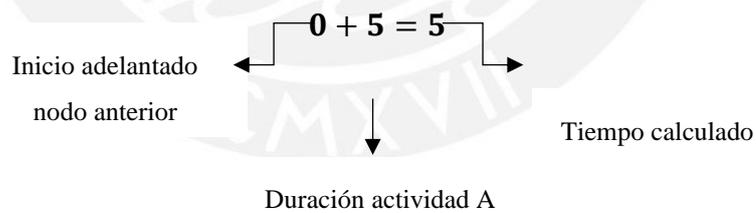
Tabla 1: Actividades del diagrama de red

ACTIVIDAD	TIEMPO
A	5
B	3
C	8
D	4
E	4
F	5
G	3
H	6
I	4
J	2

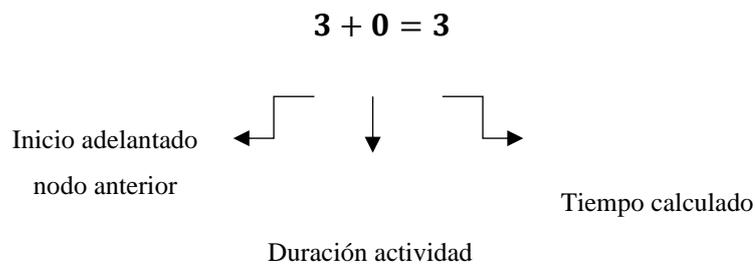
Se inicia en el nodo 1 y tal como se ve en la figura, existen dos maneras de llegar al nodo 2. Se puede seguir por la actividad A o pasar por la actividad B y una actividad ficticia.

Para definir el inicio temprano se debe escoger el mayor tiempo hacia el nodo 2. Es así como se tiene:

➤ **ACTIVIDAD A**



➤ **ACTIVIDAD B + ACTIVIDAD FICTICIA**



Por lo tanto, la actividad de inicio adelantado que llega al nudo 2, es la actividad A. Se sigue este procedimiento para los demás nodos siguiendo el camino de izquierda a derecha.

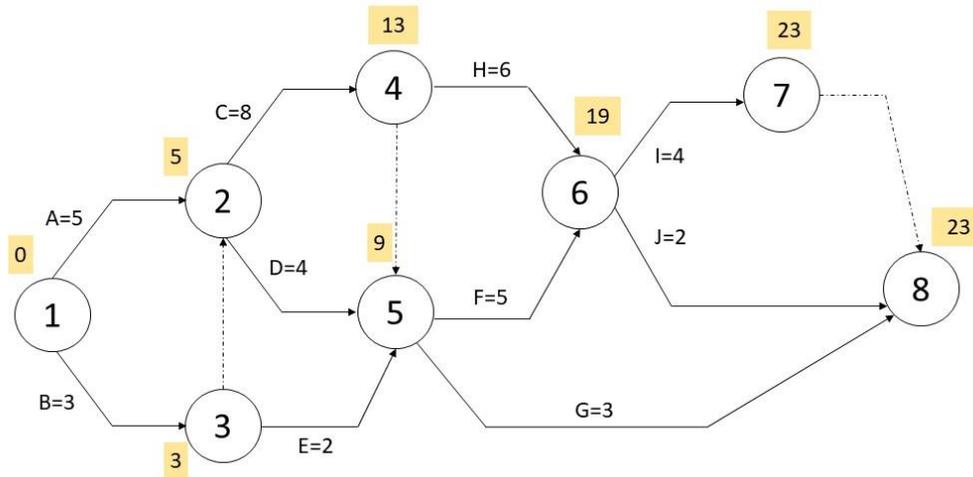


Ilustración 10: Diagrama de red

Extraído de Manual de programación y control de programas de Obra. Sánchez, 1997

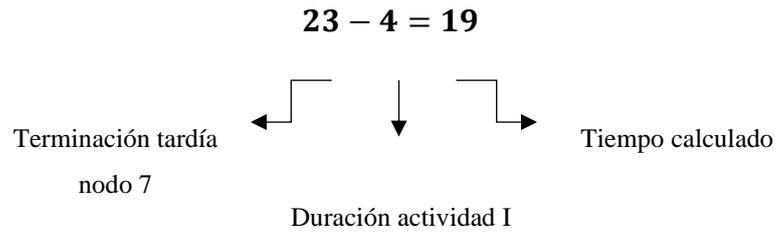
B. Terminación tardía:

Es el segundo cálculo para ejecutar en la red. Para este caso, se inicia en el último nodo (inicio de la última actividad) y se analiza de derecha a izquierda, seleccionando el menor tiempo de evento.

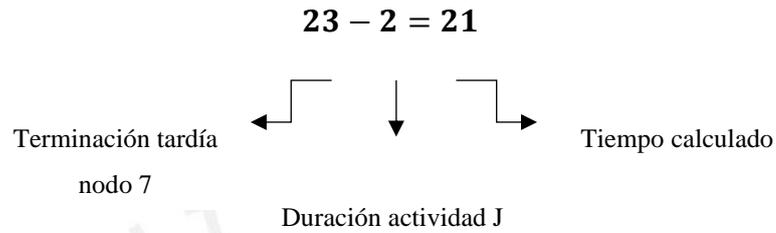
A continuación, se detalla el procedimiento en base a lo explicado por Sánchez (1997):

- Con la red y las actividades planteadas anteriormente, se procede a evaluar el nodo 8 considerando el inicio adelantado previamente calculado como la terminación tardía para dicho nodo.
- Luego se puede apreciar que del nudo 7 parte una actividad ficticia con una duración igual a 0, por lo que el valor de la terminación tardía sería el mismo que para el nudo 8.
- Como se observa, del nudo 6 parten 2 actividades (I,J), en este caso a diferencia del inicio adelantado, se considera el menor valor obtenido en el cálculo.

➤ **ACTIVIDAD I**



➤ **ACTIVIDAD J**



Finalmente se escoge el menor tiempo para determinar la terminación tardía del nodo 6. Se sigue este procedimiento con los demás nodos, teniendo en cuenta que las actividades ficticias tienen una duración igual a 0.

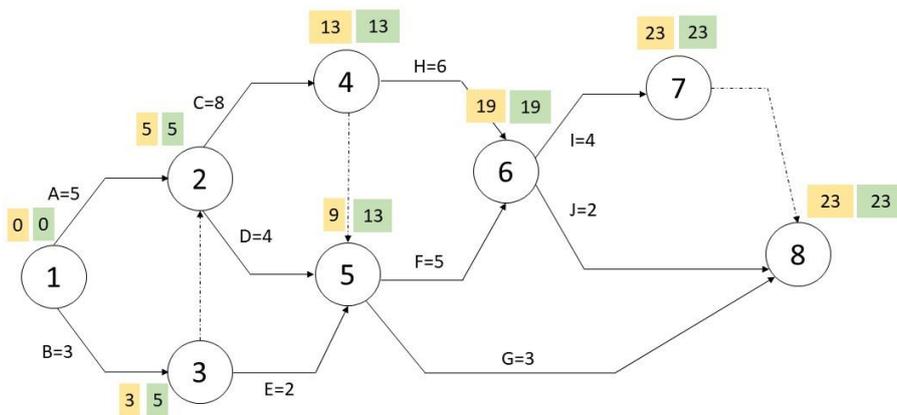


Ilustración 11: Diagrama de red

Extraído de Manual de programación y control de programas de Obra. Sánchez, 1997

2.2.9. Camino crítico

Después de realizar los pasos descritos en los puntos anteriores y los cálculos necesarios, se podrá identificar la duración más corta del proyecto, es decir, la ruta crítica. De acuerdo con Sánchez (1997), el camino crítico de la red será el recorrido más largo entre la actividad inicial

y final del proyecto, y aunque suene paradójico, este camino supondrá la duración mínima para la culminación del proyecto.

Es importante mencionar, que para seleccionar el camino crítico será necesario utilizar aquellas actividades que tengan holgura total igual a cero.

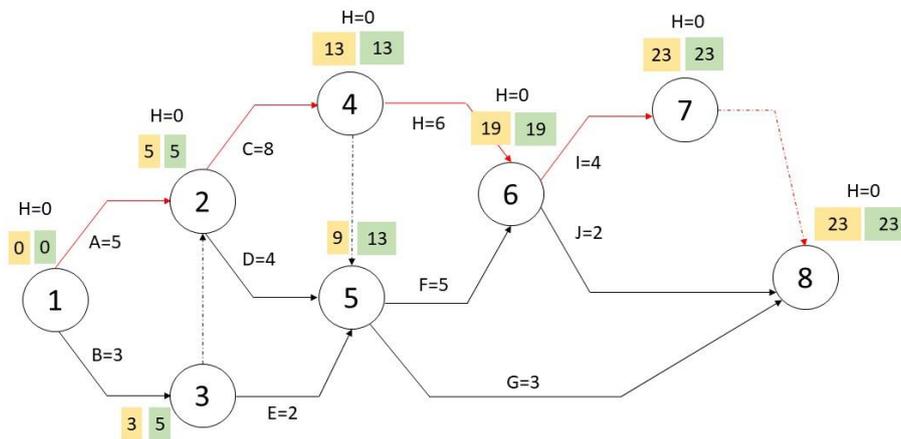


Ilustración 12: Diagrama de red

Extraído de Manual de programación y control de programas de Obra. Sánchez, 1997

3. CAPÍTULO 3: APLICACIÓN EN EL CENTRO EDUCATIVO N°32

3.1. Descripción del proyecto

El proyecto al que se aplicará la ruta crítica es el centro educativo N°32, el cual se ubica en la urbanización las Vegas, en la intersección de la avenida Los Lecaros y la Prolongación Chimpu Ocllo (calle San Pedro) en el distrito de Puente Piedra, provincia y departamento de Lima.

Como se mencionó anteriormente, se realizó este proyecto desde las etapas previas como los estudios de suelos correspondientes, se siguió con el diseño arquitectónico y se diseñaron detalladamente las especialidades de estructuras e instalaciones eléctricas y sanitarias. Además, se continuó la etapa de construcción, donde se controló la programación del proyecto y los costos y presupuestos.

En cuanto a las características del proyecto, este consta de dos niveles muy similares donde se ubican aulas convencionales, laboratorios de cómputo, servicios higiénicos y una dirección. Además de una terraza que cuenta con un baño para docentes y un espacio de usos múltiples para los alumnos.

Con respecto al diseño arquitectónico, los acabados empleados para este proyecto resultan ser los más económicos del mercado, puesto que el sector al que está dirigido es del nivel socioeconómico C-D. Por otro lado, en cuanto a la especialidad de estructuras, se utilizó un sistema de muros estructurales combinados con pórticos de concreto armado.

Las partidas que forman parte de este proyecto, divididas según las especialidades de estructuras, arquitectura, instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias, se detallaron en base a proyectos similares y mediante un juicio de expertos. Estas se mostrarán en la programación detallada más adelante.

Nota: La fecha de inicio del proyecto está dada para el 01/01/2021.

3.2. Alcance del proyecto

Asimismo, es importante señalar que el alcance que tendrán las especialidades mencionadas se descompondrá en un entregable denominado estructura de desglose de trabajo (EDT), el cual permite que las partidas se pueden dividir en componentes más precisos. Una de las ventajas de este entregable es que permite tener un apoyo visual de los trabajos que serán necesarios realizar en el proyecto, haciendo más sencillo la identificación de actividades. Como se observa en el **Gráfico 2**, las partidas están establecidas de acuerdo con un nivel, por ejemplo, en el nivel 1 se encuentran las distintas especialidades que componen el proyecto, mientras que en los demás niveles se detallan los trabajos que componen cada una de estas.

Como se observa, el nivel tres detalla de manera más precisa cada una de las partidas, sin embargo, al elaborar el cronograma se brindará con más detalle cada una de las subpartidas que la componen.

3.3. Herramientas para utilizar

La programación del proyecto, la cual incluye la ejecución de la ruta crítica, se elaboró usando el programa MS PROJECT, el cual es un software comúnmente utilizado en la dirección de proyectos con el cual se puede gestionar tareas, recursos y elaborar cronogramas y presupuestos.

3.3.1. Funciones

El MS PROJECT permite llevar un seguimiento del proyecto y un control del avance a lo largo del ciclo de este. Con ayuda de esta herramienta se puede realizar la planificación mediante la realización de gráficos (diagrama de Gantt) y elaborar presupuestos o cronogramas valorizados.

Es importante señalar que una de las principales características de este software es que permite establecer el orden de las actividades de manera sencilla, a fin de identificar las más importantes. Además, mediante los gráficos se podrá controlar la estimación de los costos y tiempos. Por otro lado, permite obtener informes que detallan los recursos utilizados, el seguimiento del proceso, entre otros. (Projectadmin, 2020)

3.3.2. Ventajas y desventajas

El MS PROJECT, es una forma sencilla de controlar a las personas y a los recursos de las actividades. Dicho programa tiene plantillas que facilitan el trabajo de los usuarios, generando un ahorro de tiempo al realizar el trabajo. Asimismo, posee herramientas de administración financiera, lo cual sirve de utilidad al realizar presupuestos estimados.

Adicional a ello, este programa permite mitigar riesgos, ya que analiza anticipadamente en qué área se pueden producir. (Projectadmin, 2020)

Por otro lado, una de las desventajas es que en el programa no se puede trabajar en una plataforma online simultáneamente, ya que presenta grandes limitaciones dificultando el trabajo en equipo. Así también, el programa no resulta ser familiar para muchos individuos debido a que no es enseñado en universidades ni colegios, generando que los que deseen aprenderlo deban costearlo y capacitarse bajos sus propios recursos. Finalmente, el programa no es compatible con muchos formatos, es decir, solo se pueden leer los archivos si se cuenta con el programa instalado, caso contrario es imposible abrirlo.

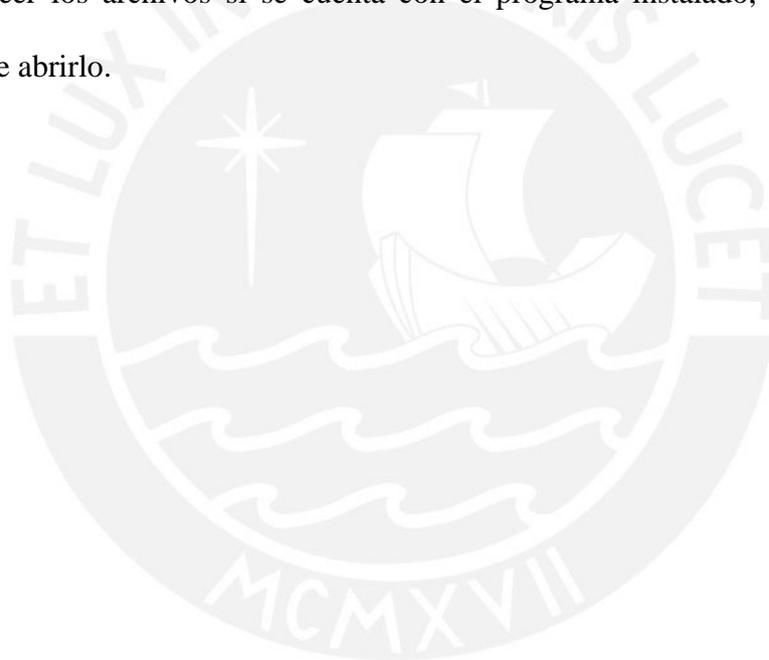
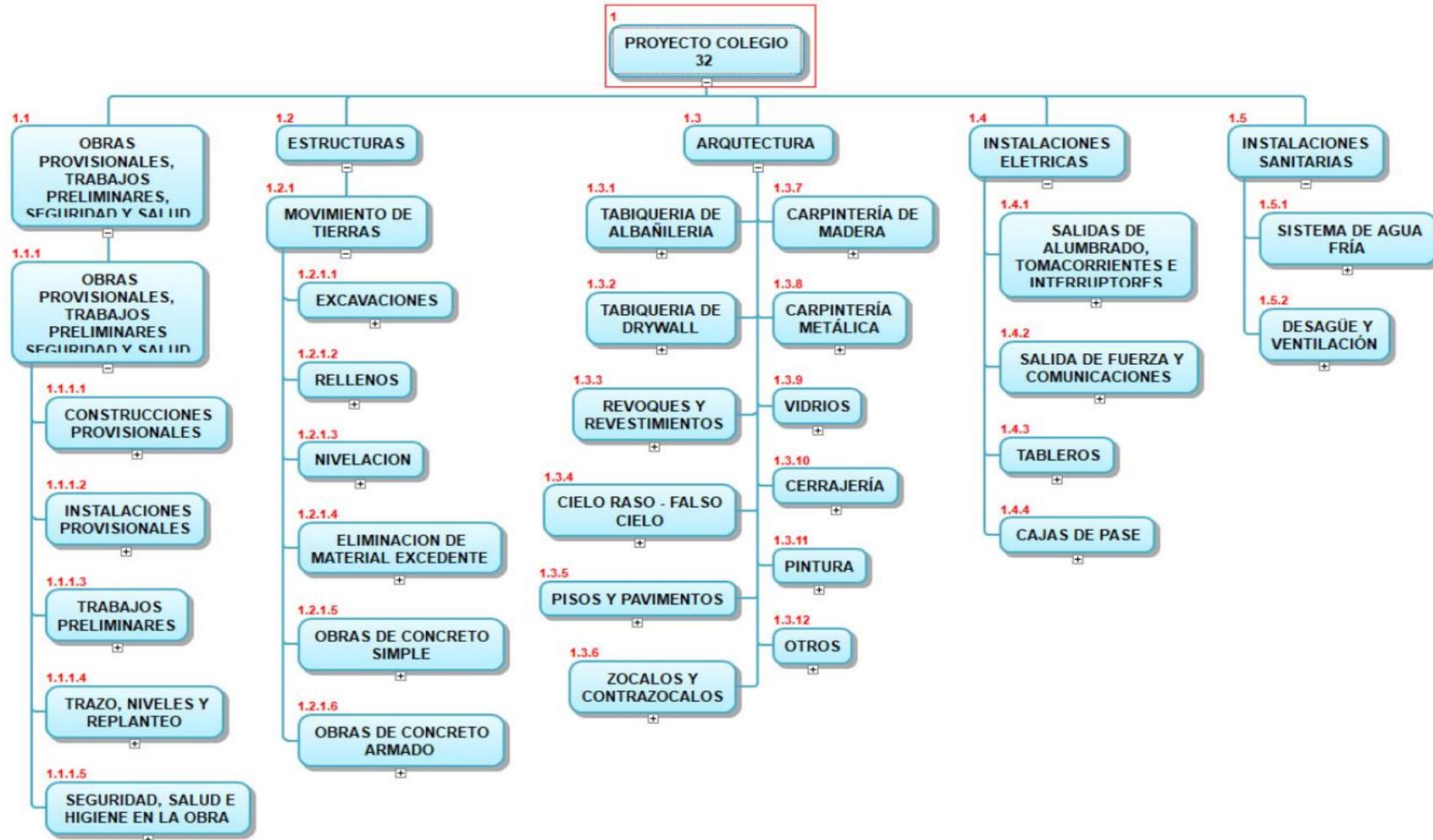


Gráfico 2: Estructura de descomposición del trabajo



3.4. Lista de actividades

Las actividades del proyecto han sido organizadas en cinco etapas distintas: Obras provisionales, Estructuras, Arquitectura, Instalaciones Eléctricas e Instalaciones Sanitarias. Dentro de estas etapas se encuentran las actividades denominadas partidas que se desarrollaran en la vida del proyecto. Debido a la extensión del proyecto, a modo de ejemplo, solo se mostrará la etapa de Estructuras con sus subetapas y las actividades que involucra. Para mayor detalle ver en los anexos todas las actividades del proyecto. En la siguiente tabla se describen las tareas realizadas en el área de estructuras y su ID.

Tabla 2: Lista de actividades del proyecto

Id	DESCRIPCION
25	ESTRUCTURAS
26	MOVIMIENTO DE TIERRAS
27	EXCAVACIONES
28	EXCAVACION MASIVA CON EQUIPO PESADO
29	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMIENTO CORRIDO
30	CORTE DE TERRENO NATURAL PARA BASE
31	RELLENOS
32	CONFORMACION DE BASE GRANULAR
33	RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO
34	NIVELACION
35	NIVELADO Y COMPACTADO
36	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE
37	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE
38	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE
39	SOLADOS
40	SOLADO ZAPATA DE 4" F'c=100 Kg/cm ²
41	SOLADO CISTERNA DE 2" F'c=100 Kg/cm ²
42	CIMIENTO CORRIDO
43	CONCRETO CICLOPEO PARA CIMIENTO
44	FALSO PISO
45	CONCRETO FALSO PISO 1:10 (10cm)
46	OBRAS DE CONCRETO ARMADO
47	ZAPATAS
48	CONCRETO PARA ZAPATAS f'c= 210 kg/cm ²
49	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
50	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²
51	SOBRECIMIENTO
52	CONCRETO PARA SOBRECIMIENTOS
53	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO

Id	DESCRIPCION
54	COLUMNAS
55	CONCRETO PARA COLUMNAS f'c= 210 kg/cm ²
56	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
57	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²
58	VIGAS
59	CONCRETO VIGAS f'c= 210 kg/cm ²
60	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA VIGAS
61	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²
62	LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL
63	CONCRETO EN LOSAS ALIGERADAS
64	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
65	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²
66	LADRILLO DE ARCILLA 20x30x30cm
67	LOSAS MACIZA
68	CONCRETO f'c= 210 kg/cm ²
69	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
70	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²
71	CISTERNA
72	CONCRETO f'c=280 kg/cm ²
73	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
74	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²
75	MUROS DE CONCRETO ARMADO
76	CONCRETO f'c= 210 kg/cm ²
77	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
78	ACERO CORRUGADO Fy= 4200 kg/cm ²

3.5. Matriz de secuencia de actividades

A partir de las actividades descritas se realizó la secuencia de actividades, donde la actividad predecesora de cada tarea estará enlazada al código ID de cada actividad. En la siguiente tabla se muestra secuencia de actividades.

Tabla 3: Matriz de secuencia de actividades

ID	DESCRIPCIÓN	PREDECESORA	ID	DESCRIPCIÓN	PREDECESORA
25	ESTRUCTURAS		54	COLUMNAS	
26	MOVIMIENTO DE TIERRAS		55	CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	56CC
27	EXCAVACIONES		56	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	48
28	EXCAVACION MASIVA CON EQUIPO PESADO	18FC-6 días	57	ACERO CORRUGADO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	50
29	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMIENTO CORRIDO	28	58	VIGAS	
30	CORTE DE TERRENO NATURAL PARA BASE	37FC-3 días	59	CONCRETO VIGAS $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	61
31	RELLENOS		60	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	56
32	CONFORMACION DE BASE GRANULAR	30	61	ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	60
33	RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO	30	62	LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL	
34	NIVELACION		63	CONCRETO 210 kg/cm^2	65
35	NIVELADO Y COMPACTADO	32;33	64	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	56
36	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE		65	ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	64
37	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	28	66	LADRILLO $20 \times 30 \times 30 \text{ cm}$	65
38	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE		67	LOSAS MACIZA	
39	SOLADOS		68	CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	70
40	SOLADO PARA ZAPATA DE 4"	28	69	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	56
41	SOLADO PARA CISTERNA DE 2"	28	70	ACERO CORRUGADO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	69
42	CIMIENTO CORRIDO		71	CISTERNA	
43	CONCRETO CICLOPEO	29	72	CONCRETO $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$	73FC-3 días
44	FALSO PISO		73	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	74
45	CONCRETO 1:10 (10cm)	147;146	74	ACERO 4200 kg/cm^2	52CC
46	OBRAS DE CONCRETO ARMADO		75	MUROS DE CONCRETO ARMADO	
47	ZAPATAS		76	CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	77CC
48	CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	49CC	77	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	48
49	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	57;78	78	ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	50
50	ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	40			
51	SOBRECIMIENTO				
52	CONCRETO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	53CC			
53	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	55FC-1 día			

3.6. Matriz de tiempos

Para determinar la duración de cada actividad se utilizaron los metrados, el rendimiento y el número de cuadrillas que demanda cada tarea. A continuación, se muestran los rendimientos definidos para cada actividad de la especialidad de Estructuras.

Tabla 4: Rendimientos de cada actividad

Descripción	Rendimiento	Descripción	Rendimiento
ESTRUCTURAS		COLUMNAS	
MOVIMIENTO DE TIERRAS		CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	65
EXCAVACIONES		ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	12
EXCAVACION MASIVA CON EQUIPO PESADO	100	ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	210
EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMIENTO CORRIDO	4	VIGAS	
CORTE DE TERRENO NATURAL PARA BASE	11	CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	65
RELLENOS		ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	12
CONFORMACION DE BASE GRANULAR	180	ACERO CORRUGADO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	210
RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO	35	LOSA ALIGERADA	
NIVELACION		CONCRETO	65
NIVELADO Y COMPACTADO	250	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	15
ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE		ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	210
ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	45	LADRILLO DE ARCILLA	1.600
OBRAS DE CONCRETO SIMPLE		LOSAS MACIZA	
SOLADOS		CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	65
ZAPATA 4" $F_c=100 \text{ Kg/cm}^2$	80	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	15
CISTERNA DE 2" $F_c=100 \text{ Kg/cm}^2$	100	ACERO CORRUGADO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ GRADO 60	210
CIMIENTO CORRIDO		CISTERNA	
CONCRETO CICLOPEO PARA CIMIENTO	25	CONCRETO EN CISTERNA $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$	65
FALSO PISO		ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	10
CONCRETO FALSO PISO 1:10 (10cm)	120	ACERO CORRUGADO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ GRADO 60	210
OBRAS DE CONCRETO ARMADO		MUROS DE CONCRETO ARMADO	
ZAPATAS		CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	65
CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	65	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	15
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	10	ACERO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	210
ACERO CORRUGADO $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	210		
SOBRECIMIENTO			
CONCRETO	13		
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN	14		

Luego se calculó el tiempo para cada actividad de la división del metrado entre el rendimiento.

A continuación, se muestra la duración de cada actividad para la etapa de Estructuras.

Tabla 5: Matriz de tiempos

DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN
ESTRUCTURAS		COLUMNAS	13 días
MOVIMIENTO DE TIERRAS	8 días	CONCRETO PARA COLUMNAS $f_c=210$ kg/cm ²	4 días
EXCAVACIONES	8 días	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	5 días
EXCAVACION MASIVA CON EQUIPO PESADO	3 días	ACERO CORRUGADO $F_y=4200$ kg/cm ² GRADO 60	4 días
EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMIENTO CORRIDO	5 días	VIGAS	12 días
CORTE DE TERRENO NATURAL PARA BASE	3 días	CONCRETO VIGAS $f_c=210$ kg/cm ²	4 días
RELLENOS	1 día	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA VIGAS	4 días
CONFORMACION DE BASE GRANULAR	1 día	ACERO CORRUGADO $F_y=4200$ kg/cm ²	4 días
RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO	1 día	LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL	12 días
NIVELACION	1 día	CONCRETO EN LOSAS ALIGERADAS	4 días
NIVELADO Y COMPACTADO	1 día	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4 días
ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	3 días	ACERO CORRUGADO $F_y=4200$	4 días
ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	3 días	LADRILLO DE 20x30x30cm	4 días
OBRAS DE CONCRETO SIMPLE	36 días	LOSAS MACIZA	12 días
SOLADOS	1 día	CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ²	4 días
SOLADO PARA ZAPATA DE 4" $F_c=100$ Kg/cm ²	1 día	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4 días
SOLADO PARA CISTERNA DE 2" $F_c=100$ Kg/cm ²	1 día	ACERO CORRUGADO $F_y=4200$ kg/cm ²	4 días
CIMIENTO CORRIDO	1 día	CISTERNA	4 días
CONCRETO CICLOPEO PARA CIMIENTO	1 día	CONCRETO EN CISTERNA $f_c=280$ kg/cm ²	2 días
FALSO PISO	2 días	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	2 días
CONCRETO FALSO PISO 1:10 (10cm)	2 días	ACERO CORRUGADO $F_y=4200$ kg/cm ²	2 días
OBRAS DE CONCRETO ARMADO	29 días	MUROS DE CONCRETO ARMADO	25 días
ZAPATAS	13 días	CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ²	4 días
CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ²	4 días	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	5 días
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	5 días	ACERO CORRUGADO $F_y=4200$ kg/cm ²	4 días
ACERO CORRUGADO $F_y=4200$ kg/cm ²	4 días		
SOBRECIMIENTO	5 días		
CONCRETO PARA SOBRECIMIENTOS	4 días		
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	5 días		

4. CAPÍTULO 4: PROGRAMACIÓN Y RESULTADOS

4.1. Programación

La programación del proyecto se realizó mediante el programa MS Project utilizando los campos de duración, predecesoras, demora permisible y tareas críticas. En el primer y segundo campo se ingresaron los datos mencionados anteriormente, mientras que, los dos últimos permitieron calcular la holgura de cada actividad y aquellas tareas críticas del proyecto. Adicionalmente, el programa permite visualizar las tareas críticas mediante el diagrama de Gantt, sin embargo, para la presente investigación se busca presentar el diagrama de redes, es por ello que se utilizó como complemento el programa WBS Schedule Pro.

4.2. Diagrama de redes

Luego de la programación se obtuvo el diagrama de redes del proyecto, pero debido a la extensión se presenta únicamente la ruta crítica de la especialidad de estructuras y el resumen global del proyecto. En el diagrama se logra distinguir entre tareas críticas y no críticas, en donde el color rojo representa las tareas críticas, aquellas con holgura cero, mientras que con el color azul las tareas no críticas con holguras mayores a cero, tal como se muestran en los gráficos presentados y explicados a continuación:

El **Gráfico 3** corresponde a una parte del diagrama de redes total del proyecto, en este se observa la duración de cada partida, su holgura, además de las fechas de inicio y fin. También, se visualiza el inicio y recorrido de las obras preliminares hasta la cimentación, luego de ello el diagrama continúa, pero debido a la extensión solo se presenta a manera de ejemplo esta parte del diagrama. Como se mencionó anteriormente los recuadros de color rojo son las partidas críticas del proyecto y las de color azul son actividades no críticas.

El **Gráfico 4** corresponde únicamente a la ruta crítica de la especialidad de **estructuras**, iniciando desde excavación masiva con equipo pesado hasta el vaciado y desencofrado de

losas, dentro de las cuales se toma en consideración ambos pisos del proyecto, que son ejecutados de manera secuencial. Además, de esta se deduce que, si alguna de estas actividades se retrasa, entonces no se cumplirá con el plazo establecido del proyecto, por tanto, los costos serán mayores. Los sábados se usan como buffers, para cualquier retraso de alguna actividad

El **Grafico 5** corresponde a la ruta crítica de todo el proyecto, desde el inicio del proyecto, hasta el término de este, se tiene un total de 3 meses, esta programación debe cumplirse para optimizar los recursos de mano de obra, por tanto, también se optimizarán los costos en el proyecto. Para una mejor visualización de la programación ver el anexo correspondiente.



Gráfico 3: Diagrama de redes

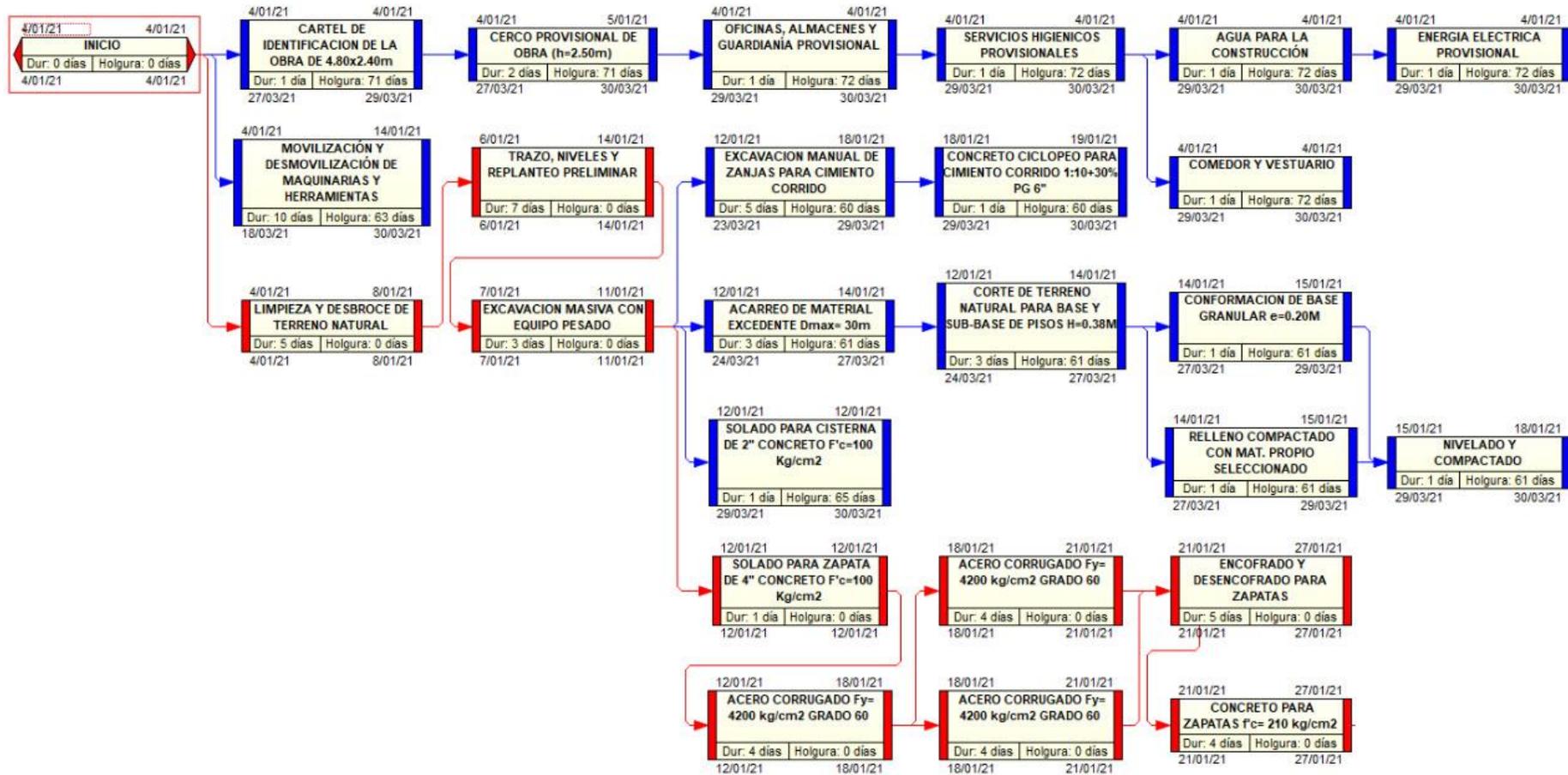


Gráfico 4: Ruta crítica – Especialidad Estructuras

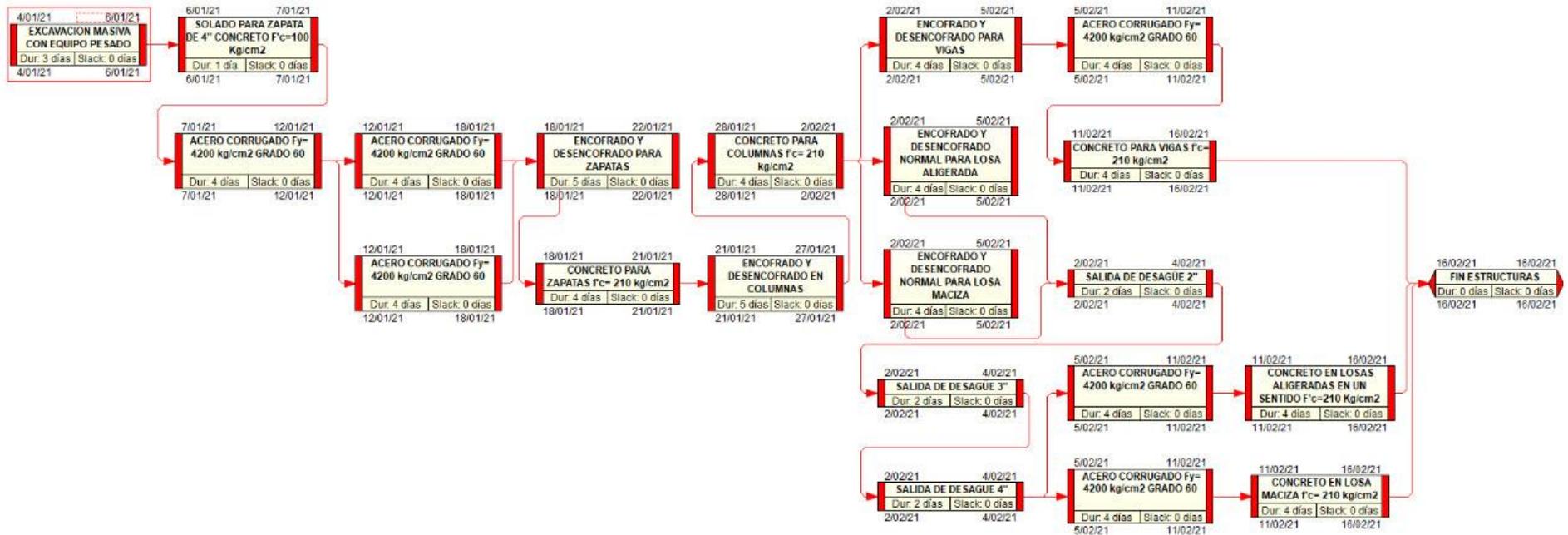
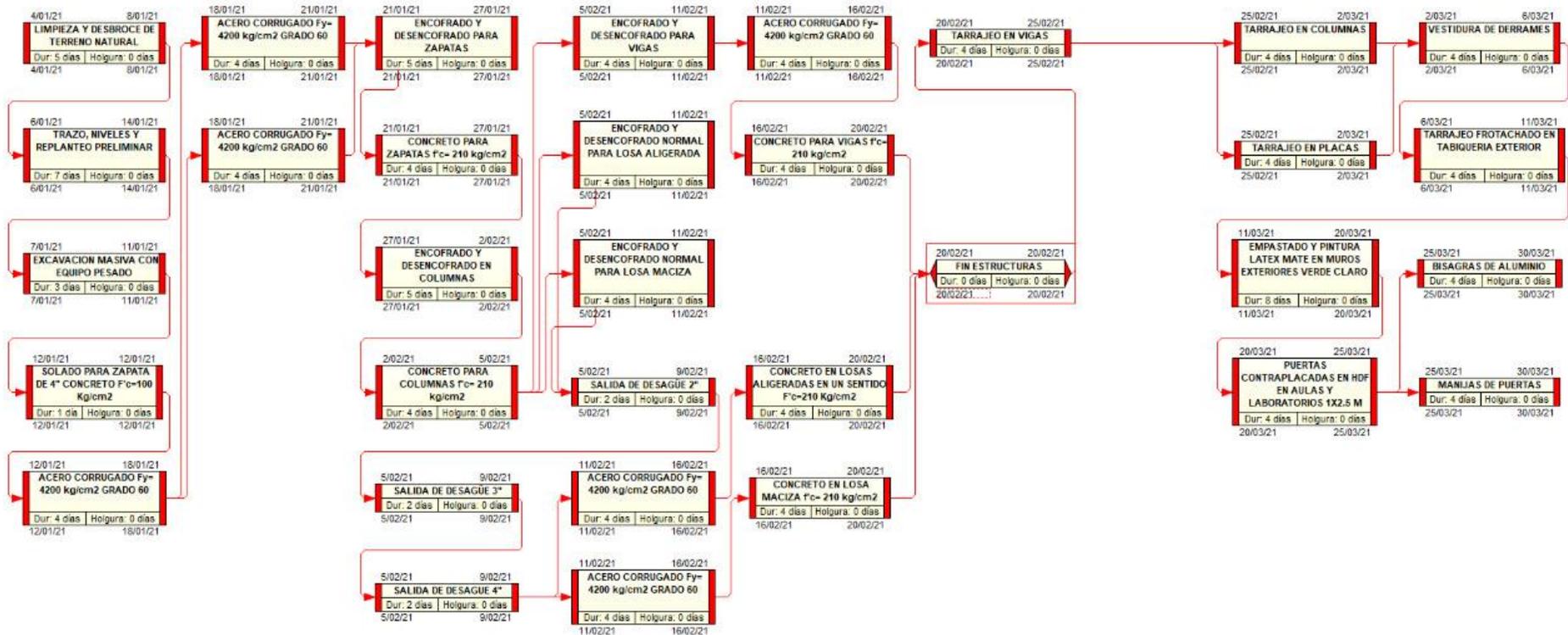


Gráfico 5: Ruta crítica del proyecto



5. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Toda meta de un determinado proyecto es lograr culminar el mismo en el periodo de tiempo establecido y cumpliendo con el presupuesto predeterminado, es por ello por lo que se debe realizar una buena planificación desde el inicio, utilizando herramientas que lo permitan.
- Al elaborar la lista de secuencia de actividades y estableciendo un vínculo adecuado entre las mismas, se podrán identificar aquellas que presenten riesgos de afectar el cronograma, holguras iguales a cero, y se podrán tomar medidas para evitar posibles retrasos y sobrecostos.
- Durante la ejecución del proyecto se podrían presentar retrasos en algunas de las actividades o partidas. Con ayuda del método de la ruta crítica, se podrá observar si dichas actividades pertenecen o no a este camino crítico. En caso pertenezcan, será necesario tomar acciones para evitar perjudicar el avance del proyecto, pero en caso no pertenezcan se podrá continuar con el desarrollo de este, considerando que las repercusiones pueden ser mínimas o nulas.
- Contar con una planificación de proyectos no supone de mayores costos, por el contrario, permite que este se pueda culminar dentro del plazo esperado al controlar y limitar los recursos, como gastos administrativos, equipos, personal, insumos, etc.
- La ruta crítica es una herramienta de planificación que resulta ser uno de los apoyos visuales más eficientes a la hora de desarrollar un proyecto, ya que permite llevar un control minucioso de cada actividad y con ello, a su vez, tener un control de cada etapa del proyecto.

- Se puede concluir que el método de la ruta crítica permite que los planificadores del proyecto prevean la mejor manera de desarrollarlo, puesto que si bien el proyecto puede culminar de distintas maneras y siguiendo distintos caminos, el que se identifica por la ruta crítica siempre será el más eficaz.
- Si bien existen distintas herramientas que permiten elaborar una programación eficaz, se recomienda considerar la ruta crítica ya que ha sido aprobado por distintos estándares como por el Project Management Institute (PMI), lo que refuerza su validez. Además, es sencillo de utilizar y de interpretar.
- Finalmente, como se observó en la etapa de resultados, la duración total del proyecto resultó ser de tres meses, la cual incluye las especialidades de estructuras (43 días) arquitectura e instalaciones. En caso de no aplicar lo establecido en la ruta crítica el tiempo de ejecución será mayor.

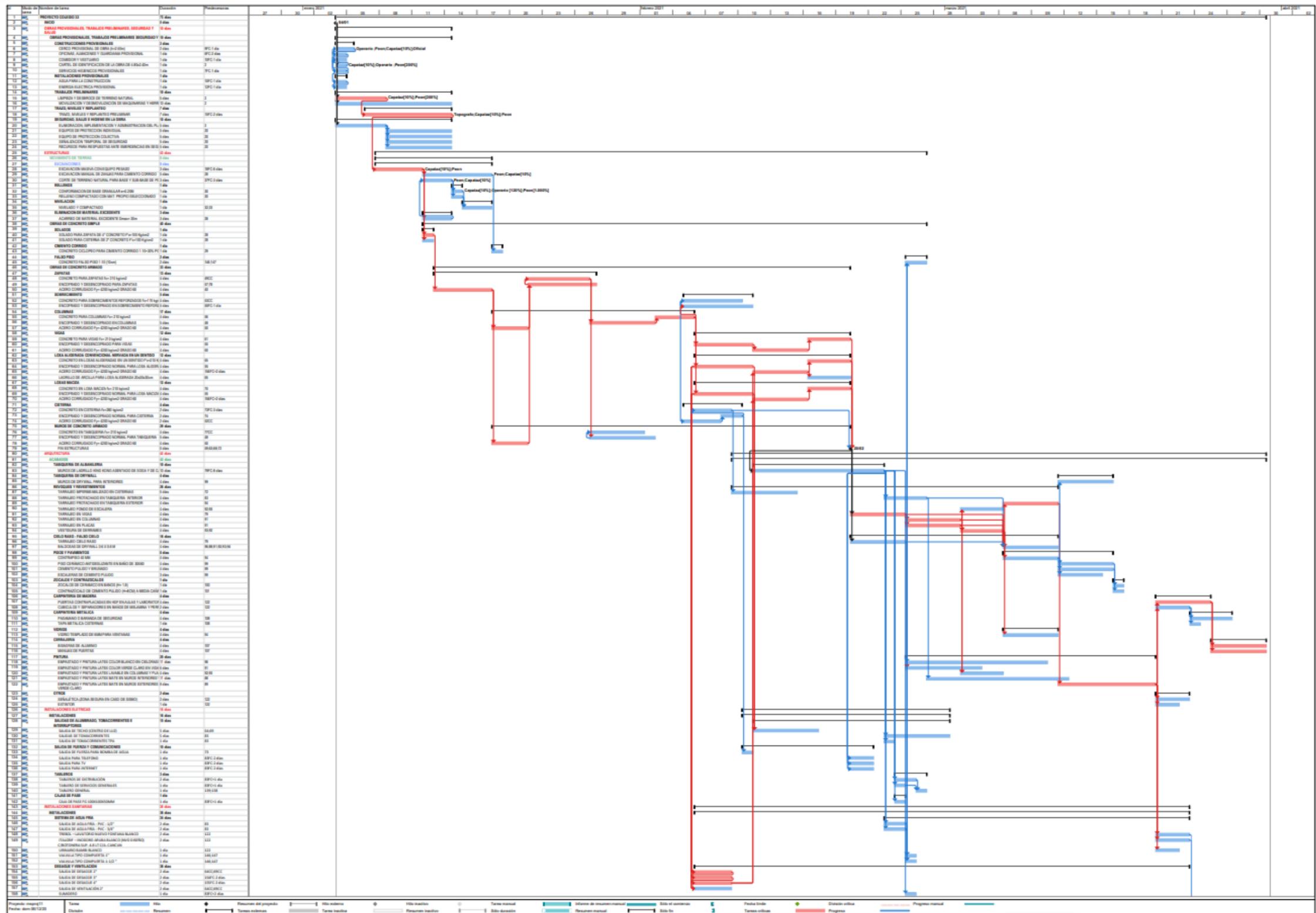
5.2. Recomendaciones

- El programa MS Project facilita la gestión de proyectos, mediante sus diversas herramientas de planificación y visualización de resultados; sin embargo, no es suficiente una sola herramienta para gestionar los diferentes recursos de un proyecto.
- Programar y planificar las actividades desde un inicio permite reducir en gran porcentaje los riesgos de posibles retrasos en la ejecución del proyecto.
- Al realizar la programación del proyecto se debe identificar correctamente las actividades predecesoras para obtener la ruta crítica más confiable.
- Es fundamental contar con personal especializado en Gestión de Proyectos para que se puedan definir las duraciones y las secuencias constructivas.

REFERENCIAS

- Sánchez, H. J. (1997). Manual de programación y control de programas de Obra. Colombia - Medellín. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1385/>
- Mattos, A. D., & Valderrama, F. (2009). Métodos de planificación y control de obras. Editorial Reverté, SA, Barcelona, EISBN:978-84-291-9429-6.
- Project Management Institute. (2017). Project Management Body of Knowledge (Vol. 6ta Edición).
- Mejia Tapia, Darwin Manuel (2016). Planificación de obra para la construcción de un complejo terapéutico para pacientes con discapacidades físicas en Guayaquil-Ecuador 2015 (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo).
- Rincón Abril, L. A. (2001). Investigación de operaciones para ingenierías y administración de empresas. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira.
- Terrazas Pastor, R. (2011). Planificación y programación de operaciones. Revista Perspectivas, (28), 7-32.
- Capri, C. (2010). Ruta Crítica. UNAM Facultad de Ingeniería, México.
- Planificación de las actividades y el tiempo de un proyecto. Online Business School. Universidad de Barcelona.
- Pupo Francisco Juan Marcos, Ruiz Carrillo Jonathan Alexander, Andrés Marcelo Pacheco Molina, Andrés Marcelo (2018). Aplicación de CPM y costos comprimidos en la producción de cerveza artesanal (Ecuador). Caso de estudio
- Rincon Abril, Luis Alberto (2001). Investigación de operaciones para ingenierías y administración de empresas
- Heizer Jay, Barry Render. (2009). Principios de administración de operaciones. Pearson.
- Taha Hamdy (2012). Investigación de operaciones. Pearson.
- Montaña, Aguntin (2000). Iniciación al método del camino crítico.
- Salazar (2019). Método de la ruta crítica. Obtenido de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/metodo-de-la-ruta-critica-cpm/>. Consulta: 29 de octubre del 2020.
- Fernandez, Rodolfo (2018). Evolución en la gestión de obras de los años '80 al 2017 - filosofía Lean Construction





Enlace del archivo de Ms Project 2016: <https://drive.google.com/drive/folders/1vSh4Efta6e3s92i8WzpsQKd4Z2mYSIxI?usp=sharing>