

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ANÁLISIS COMPARATIVO A NIVEL DE PRESUPUESTOS Y PLAZO DE EJECUCIÓN, DE UN PROYECTO DE RESIDENCIA ESTUDIANTIL, PLANEADO Y PROGRAMADO CON PROGRAMACIÓN RÍTMICA Y SECTORIZACIÓN CON TRENES DE TRABAJO VERSUS EL SISTEMA CONVENCIONAL (PERT)**

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

**AUTORAS:**

Araujo Zorrilla, Mariela Diana  
Quevedo Mares, Natalí  
Yañez Correa, Diana Sofía

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

**AUTORES:**

De La Cruz Lavado, Ruggerths Vidal  
Silva Villegas, Raul Andrey

**ASESOR:**

Hoyos Vértiz, Carlos Raúl

Lima, Diciembre, 2020

## Resumen

En la presente investigación, se plantea como objetivo comparar a nivel de presupuestos y plazos de ejecución la planificación y programación de un proyecto de edificación de residencia estudiantil mediante el método de Programación Rítmica propio de la filosofía Lean Construction versus el sistema convencional PERT (Program Evaluation and Review Technique – Técnica de evaluación y revisión de programas) que se utiliza tradicionalmente. Se analiza la planificación de la especialidad de estructuras, en específico, las partidas de acero, encofrado y vaciado de concreto de elementos verticales y horizontales. A partir de los resultados del análisis, se podrá elegir la metodología que brinde resultados más favorables para la ejecución de este proyecto en específico. Como principales hallazgos del presente trabajo de investigación, se tiene que, para el tipo de edificación, residencia universitaria, el método más adecuado es el de Programación Rítmica pues en este tipo de proyectos es posible sectorizar y obtener metrados similares entre sí, con el objetivo de que el flujo de trabajo sea continuo entre los sectores. De este modo, el ahorro obtenido empleando el método de Programación Rítmica a nivel de presupuesto es de 10% respecto al método PERT que se utiliza tradicionalmente. Y a nivel de plazo el tiempo empleado por la Programación Rítmica es 47% menor al de PERT.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Justificación .....	1
1.3. Alcance .....	2
1.4. Objetivo Principal .....	2
1.5. Objetivos específicos .....	2
1.6. Metodología .....	3
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Método PERT .....	4
2.1.1. Características .....	4
2.1.2. Procedimiento.....	5
2.2. Método de Ruta Crítica.....	6
2.3. Construcción sin pérdidas .....	7
2.3.1. Conceptos .....	7
2.3.2. Herramientas .....	9
2.3.3. Last Planner System .....	11
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	13
3.1. Características del proyecto .....	13
3.2. Herramientas aplicadas .....	13
3.3. Actividades de análisis.....	13
3.4. Producción por actividad .....	14
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN .....	16
4.1. Planificación de obra por sistema convencional (Método PERT).....	16
4.1.1. Análisis de precios unitarios .....	16
4.1.2. Cronograma de obra.....	16

4.1.3.	Presupuesto de la programación.....	19
4.1.3.1.	Costos directos.....	19
4.2.	Programación Rítmica (Filosofía Lean Construction).....	22
4.2.1.	Sectorización .....	22
4.2.1.1.	Programación detallada u horaria .....	25
4.2.2.	Trenes de trabajo .....	26
4.2.3.	Dimensionamiento de Cuadrillas .....	27
4.2.4.	Last Planner.....	28
4.2.4.1.	Planificación Maestra .....	28
4.2.5.	Presupuesto.....	29
4.2.5.1.	Costos directos.....	30
4.3.	Comparación del método PERT y Programación Rítmica. ....	34
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		38
5.1.	Conclusiones.....	39
5.2.	Recomendaciones .....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de flechas en diagrama de flujo, (a) horizontal y (b) vertical.....	4
Figura 2. Nodos de actividades de diagrama de flujo.....	5
Figura 3. Tipos de flechas de actividades ficticias en diagrama de flujo, (a) horizontal y (b) vertical.....	5
Figura 4. Ejemplo de Sectorización.....	9
Figura 5. Ejemplo de Tren de actividades.....	10
Figura 6. Análisis de Precios Unitarios para placas.....	16
Figura 7. Cronograma Método PERT para un entrepiso.....	18
Figura 8. Tren de actividades para 4 sectores.....	23
Figura 9. Sectorización para vaciado de concreto en elementos horizontales.....	24
Figura 10. Sectorización para encofrado de elementos horizontales.....	24
Figura 11. Sectorización para vaciado de concreto en elementos verticales.....	25
Figura 12. Sectorización para encofrado de elementos verticales.....	25
Figura 13. Programación detallada u horaria para 4 sectores del día 1 al día 3.....	26
Figura 14. Tren de trabajo para el caso de la edificación.....	27
Figura 15. Conformación de cuadrillas y producción.....	28
Figura 16. Número de cuadrillas para cada partida.....	28
Figura 17. Planificación Maestra.....	29
Figura 18. Comparación a nivel de plazo.....	35
Figura 19. Comparación de horas hombre por día.....	35
Figura 20. Comparación a Nivel de Costos.....	36
Figura 21. Ratio (%) Comparativo entre el presupuesto de la Programación Rítmica respecto a PERT.....	37
Figura 22. Costo Directo correspondiente a la Programación Rítmica.....	37
Figura 23. Costo Directo correspondiente al Método PERT.....	38
Figura 24. Comparación de porcentajes de costo directo de cada método.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Herramientas aplicadas .....	13
Tabla 2. Producción para cada actividad. ....	15
Tabla 3. Resumen de Partidas para Diagrama de Flujo.....	17
Tabla 4. Costo directo por partida y tipo de recurso.....	19
Tabla 5. Costo por alquiler de Torre Grúa.....	20
Tabla 6. Gastos Generales del método PERT.....	21
Tabla 7. Resumen del presupuesto analizado por el método PERT .....	22
Tabla 8. Costo de Hora Hombre .....	30
Tabla 9. Costo de Mano de Obra .....	30
Tabla 10 Costo directo de equipos.....	31
Tabla 11. Cotización de alquiler de grúa .....	32
Tabla 12. Gastos Generales del método de Programación Rítmica.....	32
Tabla 13. Resumen del presupuesto del proyecto método de Programación Rítmica.....	33
Tabla 14. Comparación en relación al Plazo y Presupuesto de la ejecución del proyecto ..	34
Tabla 15. Comparación a Nivel de Costos.....	36

# **CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES**

## **1.1. Introducción**

El escaso crecimiento de la productividad del sector construcción en comparación con otras industrias durante los últimos años nos muestra claramente la necesidad de aumentar la investigación en el área de la Gestión de la construcción para incrementar la calidad, eficiencia y productividad en todas las etapas del proyecto. Considerando que el planeamiento de los procesos de construcción es una etapa fundamental para el desarrollo de un proyecto de edificación, el presente trabajo analizará la implementación de la metodología Lean Construction en dicha etapa para comparar las mejoras que esta filosofía propone en contraste con el método PERT (Program Evaluation and Review Technique – Técnica de evaluación y revisión de programas) que se utiliza tradicionalmente.

## **1.2. Justificación**

La planificación de proyectos es esencial para reducir los costos de ejecución de la construcción e incrementar la productividad. Los distintos métodos son utilizados para cumplir con los plazos de ejecución establecidos, estos tienen la finalidad de prever incidencias debido a interrupciones y optimizar el manejo de recursos para evitar retrasos en la producción y garantizar la calidad de la misma. Por esta razón, existen diversos métodos estudiados y aplicados en la planificación y ejecución de edificaciones de concreto armado, tales como la Programación Rítmica, el Método PERT, entre otros. Cuyo estudio es esencial para elegir cuál de ellos es más eficaz de acuerdo a las características del proyecto de edificación, pues las herramientas que utiliza cada método poseen un enfoque distinto. Finalmente, identificar los factores determinantes de cada método de planificación permitirá analizar las diferencias, ventajas y desventajas de cada uno de ellos en relación al proyecto de estudio y de esta forma se podrá elegir la metodología que brinde resultados más favorables a nivel de presupuestos y plazo de ejecución en este proyecto en específico.

### **1.3. Alcance**

El estudio teórico para llevar a cabo la investigación, comprende la revisión de textos, presentaciones, tesis, revistas y todo tipo de recursos físicos y electrónicos que analicen los procesos y herramientas utilizadas para la confección de la planificación y programación en proyectos de construcción. En este caso, todos los recursos anteriores estarán enfocados en la filosofía Lean Construction y el Método Pert, debido a que la finalidad de la investigación es realizar un análisis comparativo entre ambas metodologías. El caso de aplicación, es un proyecto de edificación destinado a viviendas estudiantiles, el cual cuenta con 04 pisos y un área de 338.65 m<sup>2</sup>. Se implementarán ambas metodologías en la planificación y programación de obra para obtener resultados a nivel de presupuestos y plazo de ejecución.

### **1.4. Objetivo Principal**

Comparar a nivel de presupuestos y plazos de ejecución la planificación y programación de un proyecto de Edificación mediante las herramientas Lean versus el sistema convencional PERT.

### **1.5. Objetivos específicos**

- Adquirir conocimiento sobre la implementación y aplicación de la metodología Lean Construction y el método PERT en la planificación y programación de un proyecto.
- Describir los conceptos y herramientas de la metodología Lean Construction que serán empleadas en la planificación y programación del proyecto.
- Describir el procedimiento de la aplicación del método PERT, Técnica de Evaluación y Revisión de Programa.
- Mostrar los resultados que se obtienen a partir de la aplicación de las herramientas Lean Construction para comprobar las mejoras que esta filosofía propone.
- Realizar un análisis comparativo a nivel de costo y plazo de la implementación de la metodología tradicional (PERT) y de la filosofía Lean.
- Brindar conclusiones y recomendaciones



## 1.6. Metodología

La metodología con que se desarrollará este trabajo será la siguiente:

- Se analizarán y describirán las herramientas correspondientes a las metodologías Lean Construction y PERT que serán aplicadas en el caso de aplicación.
- Se seleccionará un proyecto de edificación en el cual se utilizará Programación Rítmica y Sectorización con Trenes de Trabajo (herramientas de la filosofía Lean Construction) en la etapa de planificación a nivel de casco.
- Se desarrollará el mismo proyecto durante la etapa de planificación con la metodología tradicional (Método PERT).
- Se realizará un análisis comparativo sobre los resultados obtenidos de las dos metodologías a nivel de presupuestos y plazo de ejecución.
- Se analizará los beneficios que brinda la aplicación de cada uno de los métodos y se verificará si la filosofía Lean Construction, en efecto, ofrece mayor beneficio en comparación al método PERT en el proyecto de edificación.
- Se brindarán conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Método PERT

El método PERT (Program Evaluation and Review Technique) es un plan de gestión que se enfoca en la evaluación de tiempo de ejecución de actividades para proyectar y evaluar el desarrollo de las mismas en el tiempo estimado. Esta técnica, diseñada para el planeamiento y control de la construcción de la obra de ingeniería, permite identificar los posibles problemas en tiempos ejecución por partida y actividad.

La presentación de este método se realiza a través de un diagrama de que ilustra la secuencia de actividad mediante flechas y nodos para determinar el mejor programa general de la operación, debido a que el inicio de todas las actividades de un evento depende de la terminación de todas las actividades que llegan a él del evento anterior (Moreno Hernandez I., 2017).

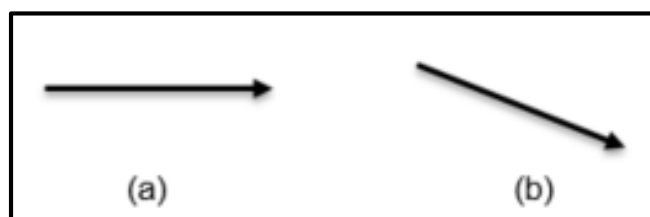
#### 2.1.1. Características

##### Flechas

Las flechas del diagrama representan las actividades que posee el evento a ejecutarse, estas poseen una cola que ilustra el inicio de la actividad, y la punta la terminación del mismo. En el diagrama, estas flechas no poseen escala, es decir, no ilustra de manera cualitativa la duración de estas actividades, además pueden ser horizontales o inclinadas (Aguilar, M., 2010).

##### Figura 1.

*Tipos de flechas en diagrama de flujo, (a) horizontal y (b) vertical*



*Nota.* Elaboración propia.

## Nodos

Los nodos representan eventos y no poseen duración. Estos se presentan en círculos o rectángulos, nodo i y nodo j, los cuales corresponden a un tiempo en que la actividad puede ser realizada luego de que todas las anteriores hayan sido culminadas.

**Figura 2.**

*Nodos de actividades de diagrama de flujo*

Actividad	
Duración:	X días
nodo i	nodo j

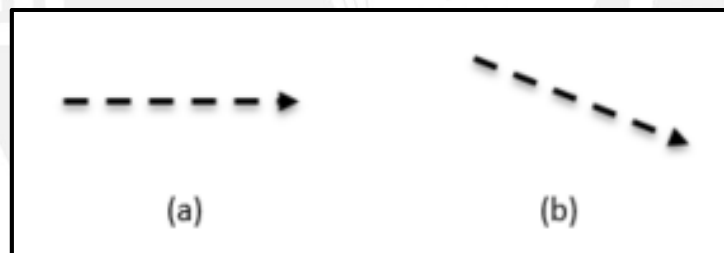
*Nota.* Elaboración propia.

## Actividades ficticias

Las actividades ficticias son representadas por flechas punteadas y no poseen duración. Estas flechas pueden ser horizontal o inclinadas y son utilizadas para representar una dependencia en la secuencia de actividades.

**Figura 3.**

Tipos de flechas de actividades ficticias en diagrama de flujo, (a) horizontal y (b) vertical.



*Nota.* Elaboración propia.

## Método de numeración de los eventos

Una vez haya sido conformada la red, se enumera los eventos en el orden de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo solo utilizados números pares, pues los números impares serán utilizados para asignar actividades que hayan sido omitidas.

### 2.1.2. Procedimiento

Aguilar M. (2010), define los puntos que debe cumplir el diagrama de flujo para implementar el método PERT.

- Todas las actividades deben ser culminadas para poder iniciar la siguiente.
- La numeración de los eventos no debe repetirse.
- Los eventos deben ser conectados máximo por una actividad
- La red debe tener solo un evento inicial y final.

Asimismo, para determinar el cálculo de tiempo de los eventos se debe entender que estos son un punto en el tiempo, es decir, que no poseen duración y cuentan con cuatro tiempos de ocurrencia. Por otro lado, la duración (D) de las actividades es determinada en días de trabajo y se grafica en un rectángulo debajo de cada actividad.

Para calcular el primer inicio (PI), se identifica el tiempo más temprano en el que es posible que empiece una actividad, este tiempo es sumado a la duración del primer inicio del evento anterior.

$$PI = PI_{anterior} + D$$

De manera similar, el último inicio (UI) es el tiempo más tardío posible de una actividad, el cual es calculado con la diferencia entre último inicio de la actividad posterior y la duración de la actividad.

$$UI = PI_{posterior} - D$$

Por otro lado, se debe determinar el tiempo cero, el cual representa el final del día anterior al inicio del proyecto y punto de partida para el cálculo de todas las actividades en la red. Cuando se obtiene el trazo final proyectado de la red, se calculan los tiempos más próximos y tardíos de inicio y final para cada evento con la finalidad de identificar las holguras y determinar la ruta crítica.

Finalmente, las holguras pueden ser totales o libres, holgura total (HT) y holgura libre (HL). Estas son el tiempo libre que posee una actividad no crítica en la red, este tiempo es utilizado si se requiere atrasar o alargar alguna actividad sin que esto modifique la actividad siguiente.

## 2.2. Método de Ruta Crítica

El método de Ruta Crítica tiene el objetivo de trazar la dirección y tiempo en el que será ejecutado el proyecto. Este trazo determina el plazo total ya que es realizado solo con las actividades críticas, es decir, las que no poseen holgura, ya que si alguna de las actividades que posee presenta algún retraso, el tiempo de duración del proyecto total se ve afectado (Toro Neira, C., 2017).

Para su determinación, se identifican las actividades críticas identificando las que poseen las ocurrencias más tempranas y tardías en el diagrama y entre ellas las que posean que el primer inicio (PI) sea igual al último inicio (UI).

### **2.3. Construcción sin pérdidas**

La metodología de Lean Construction aparece a comienzos de la década de los años 90 mediante la publicación de la tesis de doctorado, “Application of the New Production Philosophy to Construction”, del Ingeniero Finladés Lauri Koskela. Esta nueva filosofía nace de la adaptación de la metodología Lean Manufacturing planteada en décadas anteriores por la empresa Toyota, la cual permitió que se posicionara frente a otras empresas automotrices americanas en los años 80 (Guzmán Tejada, A., 2014). Esta filosofía plantea ver a la producción como transformación de entradas y salidas, una descomposición del todo en partes para que cada de estas separaciones se transforme de manera eficiente; como flujo, el cual presenta el procesamiento como pasos sucesivos y alternativos de una manera eficiente y busca reducir las actividades que puedan generar pérdidas; y como un proceso que busca maximizar el valor desde el punto de vista del cliente final (Castillo, I., 2014).

Los objetivos de Lean Construction son los siguientes: diseñar en conjunto el producto como proceso, controlar la producción desde el diseño hasta su entrega, reducir las actividades que no agreguen valor al producto, reducir la variabilidad del proyecto y maximizar el valor del proyecto atendiendo los requerimientos del cliente (Howell, G., 1999).

#### **2.3.1. Conceptos**

##### **a. El concepto del valor:**

Uno de los principales objetivos del empleo de esta metodología es generar un valor para el cliente; sin embargo, no existe una definición exacta para este concepto por proporcionada por el Lean Construction Institute. Varios autores lo definen de distintas maneras; por ejemplo, Womack, J & Jones, D. (2003) definen al valor como la capacidad de proveer al cliente en el momento adecuado y a un precio apropiado el producto, tal como se definió en cada caso por el cliente. Asimismo, Mohanbir

Sawhney define al valor como la utilidad obtenida de los beneficios que recibe un cliente a cambio del costo de una respectiva oferta en contraposición de otras existentes (2003).

**b. Pérdidas:**

Según Koskela Lauri, Lean Construction es una forma de diseñar el sistema de producción para minimizar las pérdidas de materiales, tiempo y esfuerzo para generar la máxima cantidad posible de valor. Por tanto, es de vital importancia entender el concepto de pérdidas que se puede definir como las actividades que toman tiempo, recursos o espacio, pero no agregan valor desde la perspectiva del cliente final (1992). El ingeniero Taiichi Ohno estableció distintas pérdidas en el Lean Manufacturing como consecuencia de su estudio para mejorar la producción de Toyota (Castillo, I., 2014). Estas son las siguientes:

1. Sobreproducción
2. Sobreproceso
3. Defectos
4. Transporte
5. Inventario
6. Movimiento
7. Esperas

**c. Productividad:**

Según Serpell, A. y Alarcón, L, la productividad es “una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado” (1999). Se puede dividir la ocupación del tiempo de los trabajadores del sector construcción en tres tipos de actividades; por ejemplo, Trabajo Productivo, el cual corresponde a las actividades que aportan en forma directa a la producción de alguna unidad de construcción; Trabajo Contributorio, actividades necesarias que sirven de apoyo y permiten la ejecución del trabajo productivo sin agregar algún valor a la unidad de construcción; y, finalmente, Trabajo No Contributorio que corresponde a cualquier

actividad realizada por el trabajador que tienen un costo y no agregan valor ni sirven de apoyo para la producción de alguna unidad de construcción. Por tanto, el ultimo tipo de actividades son consideradas pérdidas y se debe buscar eliminarlas. Asimismo, las actividades pertenecientes al Trabajo Contributorio también son consideradas pérdidas en segundo nivel, sin embargo, estas no pueden ser eliminadas, pero si reducidas.

### 2.3.2. Herramientas

#### a. Sectorización

La filosofía Lean tiene como base la teoría de los lotes de producción y lotes de transferencia, con el propósito de realizar trabajos repetitivos. En el ámbito de la construcción, la sectorización vendría a ser la equivalencia de los lotes de Lean Manufacturing. Se conoce a la sectorización como el procedimiento por el cual se divide el trabajo de una actividad en una obra o proyecto, en partes más pequeñas. Cada una de estas partes tendrán valores correspondientes al metrado muy similares entre sí, con el objetivo de que el flujo de trabajo sea continuo entre los sectores de trabajo (Guzmán Tejada, A., 2014).

**Figura 4.**

*Ejemplo de Sectorización*



*Nota.* Tomada de *Propuesta e implementación de sectorización y trenes de trabajo para acabados inferiores bajo la filosofía Lean Construction, en obras de construcción de viviendas masivas* (p.59), por José Castro y Jesús Pajares, 2014.

Finalmente, el objetivo de la sectorización es realizar la obra utilizando lotes de producción o partes más sencillas de realizar, trabajar y supervisar, con los cuales se formará el tren de actividades

### b. Tren de actividades

En la filosofía Lean se hace uso las líneas de producción en las fábricas, por otro lado, de forma similar, en el ámbito de la construcción se usa la metodología del tren de actividades. En la metodología del tren de actividades se avanza el trabajo sector por sector hasta alcanzar el producto final que es el proyecto. Debido a que, a diferencia de una fábrica, la construcción de una obra no puede ser automatizada, llevando el producto de una estación a otra, la forma de trabajar será con el avance de las cuadrillas de trabajo (Guzmán Tejada, A., 2014). A continuación, se muestra un ejemplo de tren de actividades:

**Figura 5.**

*Ejemplo de Tren de actividades*

	1	2	3	4	5	6	7	8
Perforación para Anclaje	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G	1H
Inyección de concreto		1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G
Excavación de Banqueta			1A	1B	1C	1D	1E	1F
Colocación de Contrafuerte			1A	1B	1C	1D	1E	1F
Perfilado de banqueteta y Pañeteo			1A	1B	1C	1D	1E	1F
Colocación de malla de acero				1A	1B	1C	1D	1E
Relleno de longitud de empalme				1A	1B	1C	1D	1E
Encofrado de Muro					1A	1B	1C	1D
Concreto de Muro					1A	1B	1C	1D
Tensado de Anclajes								1A

*Nota.* Ejemplo de tren de actividades en muros pantalla. Tomada de *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos* (p.29), por Abner Guzmán, 2014.

### c. Buffer

El planeamiento de una obra de construcción se realiza utilizando el tren de actividades como se describió anteriormente. A pesar de que se han creado nuevas metodologías para realizar la programación de las obras, la construcción de un proyecto es un proceso muy variable, y cuya variabilidad se ve reflejada en el plazo y el costo



del proyecto, por lo cual, es difícil determinar el tiempo exacto que se utilizará para cada actividad definida. Debido a ello, es que se requiere el uso de buffers.

El buffer se podría describir como un amortiguador o colchón en el plazo, con lo cual se obtienen más días para realizar las tareas faltantes que no se pudieron realizar en la semana, reparar trabajos mal hechos, etc. (Guzmán Tejada, A., 2014). Un uso y tamaño adecuado de buffers permitirá un desarrollo adecuado de los programas de construcción de mayor capacidad predictiva y así facilitará el flujo de producción en terreno (Castro J. y Pajares J., 2014) Existen tres tipos de buffer:

#### **Buffer de inventario:**

Este buffer se trata de adquirir una mayor cantidad de materiales y equipos a la realmente necesaria en obra, con el propósito de que el proceso constructivo no se vea interrumpido por la falta de recursos. Es bastante usado en obras de construcción.

#### **Buffer de Tiempo**

Este buffer se trata de generar y tomar un tiempo extra para poder terminar las tareas faltantes en la semana. Este es el buffer más usado en proyectos de construcción, por ejemplo, en la obra a analizarse en la presente investigación, el sábado será considerado como buffer.

#### **Buffer de capacidad**

Este buffer se trata de priorizar las tareas que pertenecen a la ruta crítica, es decir que su retraso causas el retraso del plazo total de obra, por otro lado, las tareas no críticas no se toman en cuenta en la programación o se realizan en cuanto sea necesario para seguir con el avance de la obra.

### **2.3.3. Last Planner System**

En 1994, Glen Ballard y Greg Howell desarrollaron, tomando como base los principios de Lean Construction, el Last Planner System o el Sistema del último planificador, el cual es un sistema de planificación con el cual se gestionan los hitos de un proyecto, las actividades y las personas, y cuya ventaja es la mejora en la confiabilidad de la programación y planificación (Guzmán Tejada, A., 2014).

Last Planner System es una metodología de la filosofía Lean Construction empleada en la fase de control de la producción del Lean Project Delivery System. El principal objetivo de esta metodología es controlar y reducir la variabilidad en la programación y planificación de las actividades de un proyecto. Por otro lado, dentro de la metodología de Last Planner System, se presentan más herramientas de Lean Construction, como, por ejemplo, la planificación maestra, la planificación por fases, la planificación lookahead, la planificación semanal, Porcentaje planificación cumplida (PPC) y las Razones de no cumplimiento (RNC) (Orihuela, P. y Ulloa, K., 2011).

### **Planificación maestra:**

Para esta planificación primero se deben plantear los hitos del proyecto y sus relaciones entre las distintas actividades (Corilla S., 2016). Luego de ello, se realiza la programación de todo el proyecto. Para esta planificación, el proyecto debe estar previamente sectorizado.

### **Planificación por fases:**

Esta planificación se realiza el detalle del avance de cada hito, con cada una de las actividades a realizar. En esta planificación, normalmente se usa el método Pull, el cual consiste en programar de forma reversa empezando por la última actividad a realizarse para obtener el resultado final. En esta etapa se desglosa la planificación maestra con el propósito de evitar pérdidas y priorizando las actividades necesarias a realizarse con mayor antelación (Porrás et al., 2014).

### **Planificación lookahead:**

En esta planificación se realiza la programación de las 4 a 6 semanas más próximas, tomando en cuenta las personas asignadas para cada actividad. En esta etapa también se realiza el análisis de restricciones de todas las actividades.

### **Planificación semanal:**

En esta planificación, se seleccionan las actividades de la semana, con cada una de las tareas a realizar y sus respectivas asignaciones. Debido a que este cronograma es obtenido a partir del lookahead, se debe realizar considerando las tareas a realizarse en las semanas que prosiguen en el mismo (Sanchez et al.,2014).

## CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 3.1. Características del proyecto

El proyecto “Residencia Estudiantil” es un edificio destinado a viviendas estudiantiles. Cuenta con 4 pisos, en total posee 23 dormitorios y cada piso cuenta con un hall y sala de estar. Además, cuenta con diversos ambientes entre los cuales se incluye un cuarto de máquinas, lavanderías, depósitos, una oficina para administración, un cuarto de vigilancia, baños, salas y cocinetas. El proyecto tiene un área total de 1340.30 m<sup>2</sup> y un área construida 938.60 m<sup>2</sup>.

### 3.2. Herramientas aplicadas

Se realizará la programación y se elaborará el presupuesto de este proyecto mediante dos métodos: método PERT y método de Programación Rítmica. El proyecto de tesis se limita a analizar la etapa de planificación del casco. Tiene por finalidad realizar una comparación entre los métodos mencionados anteriormente para identificar cuál se adecua más al tipo de edificación y que beneficios presenta cada uno de los métodos.

En la Tabla 1 se pueden observar las herramientas utilizadas, las cuales fueron detalladas en el Capítulo 2.

**Tabla 1.**

*Herramientas aplicadas*

Método	Herramientas
Método PERT	Ruta Crítica
Método de Programación Rítmica	Sectorización Tren de actividades Programación detallada Planificación maestra Buffers

*Nota.* Elaboración Propia

### 3.3. Actividades de análisis

Las partidas que se han considerado para realizar el análisis son las que se muestran a continuación:

- Colocación de aceros en verticales (Placas y Columnas)
- Encofrado de verticales (Placas y Columnas)
- Vaciado de verticales (Placas y Columnas)
- Desencofrado de verticales (Placas y Columnas)
- Encofrado de vigas
- Acero de vigas
- Encofrado de fondo de los (aligerado/maciza)
- Colocación de ladrillos
- Colocación de acero en la losa
- Vaciado de vigas y losas

### **3.4. Producción por actividad**

Se consideraron los valores de producción por actividad que se muestran en la Tabla 2, los valores de producción para encofrado se obtuvieron de la tesis “Análisis de la eficiencia del empleo de encofrados metálicos y madera en la construcción de edificios de la ciudad del cusco” (Arapa & Maldonado, 2019). Los valores de las demás partidas son los brindados por CAPECO. Además, se tuvo las siguientes consideraciones:

- Uso de acero dimensionado para aumentar la productividad en obra.
- Uso de encofrado metálico para mayor facilidad y rapidez en la colocación como al retirarlos.
- Uso de concreto premezclado.
- Uso de torre grúa.

**Tabla 2.***Producción para cada actividad.*

<b>CASCO</b>	<b>Producción (Und/día) - 8h</b>	<b>Producción (Und/día) - 9.6h</b>
Colocación de acero en verticales	500	600
Encofrado de verticales (columnas y placas)	17	20.4
Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)	50	60
Desencofrado verticales (columnas y placas)	20	24
Encofrado de vigas	15	18
Acero de vigas	500	600
Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)	45	54
Colocación de ladrillos	2000	2400
Colocación de acero en la losa	500	600
Vaciado de vigas y losas	50	60

*Nota.* Elaboración Propia.

Los valores de producción en el análisis mediante el método PERT se consideraron para 8 horas. Por otro lado, para el método de programación rítmica (Lean Construction) se consideraron los mismos valores de producción, pero se realizó una proporción para 9.6 horas. Esto se debe a los horarios de trabajo que serán detallados en el Capítulo 4.

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN

### 4.1. Planificación de obra por sistema convencional (Método PERT)

#### 4.1.1. Análisis de precios unitarios

Se realizó el análisis de precios unitarios para todas las partidas mencionadas anteriormente, el modelo de análisis de precios unitarios es en base a el programa S10. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se elaboró el APU para la construcción de placas.

Figura 6.

Análisis de Precios Unitarios para placas.

Partida	01.06.04.01	PLACAS CONCRETO PREMEZCLADO $f'c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> -					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	17.0000	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>		439.58
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.4706	15.12	7.12	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.4706	13.14	6.18	
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.4706	11.84	5.57	
							18.87
<b>Materiales</b>							
0205000003	Concreto premezclado $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>		1.0500	204.00	214.20	
							214.20
<b>Equipos</b>							
0348010011	VIBRADOR DE CONCRETO	hm	1.0000	0.5333	15.00	8.00	
							8.00

Nota. Elaboración propia.

#### 4.1.2. Cronograma de obra

Para la planificación del casco del edificio se presenta el siguiente cronograma de obra. Con la finalidad de reducir el tiempo de ejecución de la obra, se consideraron cinco (05) cuadrillas para la instalación del acero, seis (06) cuadrillas para el encofrado y desencofrado de elementos y dos (02) cuadrillas para el vaciado de concreto. La duración total para completar las actividades mostradas en el Capítulo 3 por cada entre piso, es de 10 días obteniendo un total de 40 días laborables (46 días calendario) o 6.6 semanas. En la tabla 3, se presentan las partidas y el rendimiento por partida para identificar la ruta crítica de la obra, así mismo, en la figura 7 se presenta el diagrama de flujo para la ejecución de un entre piso.

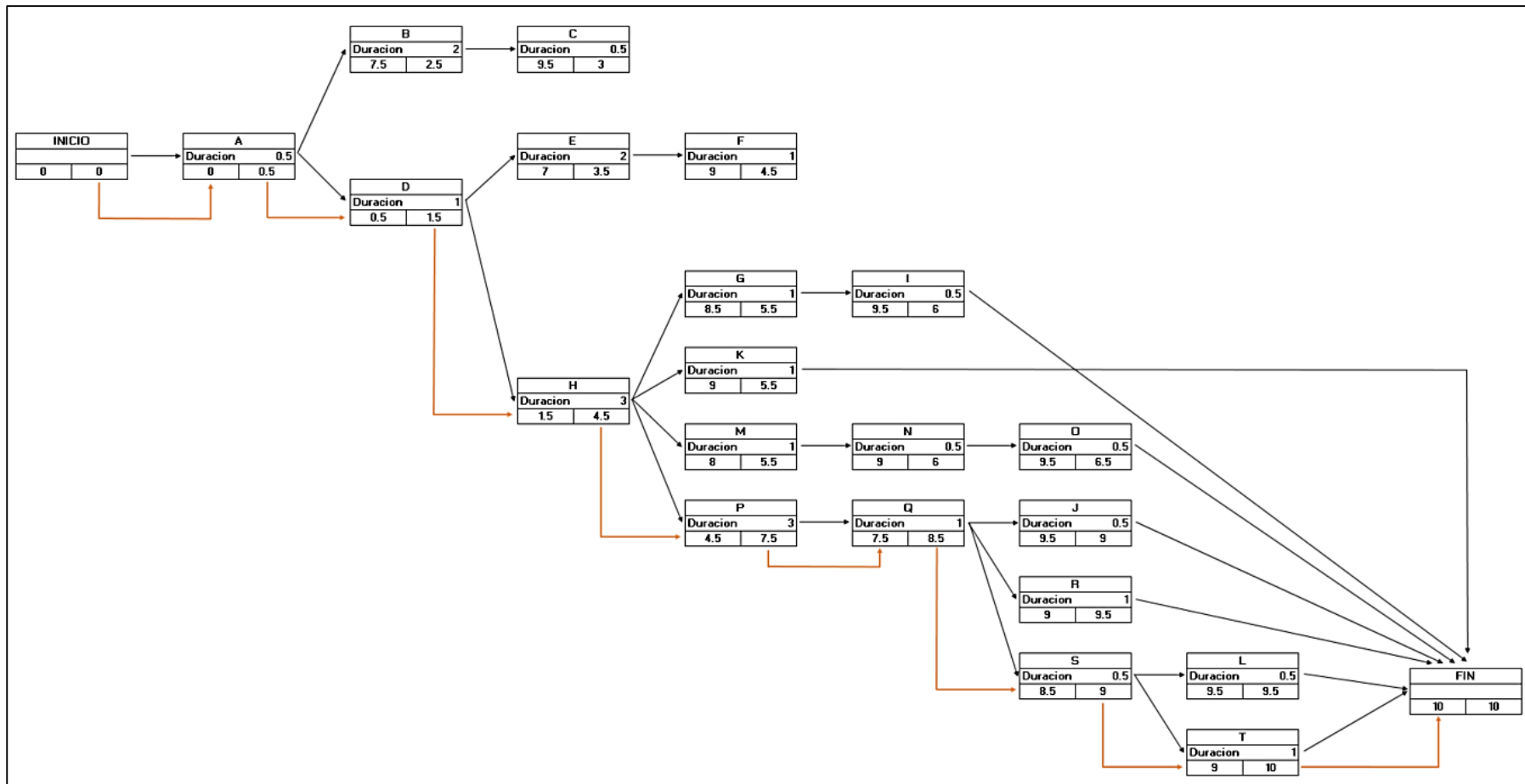
**Tabla 3.***Resumen de Partidas para Diagrama de Flujo.*

<b>Actividades</b>	<b>Partidas</b>	<b>Predecesora</b>	<b>Rendimiento Por Piso</b>
<b>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</b>			
<b>PLACAS</b>			
A	PLACAS.- ACERO $f_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>		<b>0.5</b>
B	PLACAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	A	<b>2</b>
C	PLACAS CONCRETO $f_c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> -	B	<b>0.5</b>
<b>COLUMNAS</b>			
D	COLUMNAS.- ACERO $f_c=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	A	<b>1</b>
E	COLUMNAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	D	<b>2</b>
F	COLUMNAS.- CONCRETO $f_c= 210$ Kg/cm <sup>2</sup>	E	<b>1</b>
<b>VIGAS</b>			
G	VIGAS.- ACERO $f_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	H	<b>1</b>
H	VIGAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	D	<b>3</b>
I	VIGAS - CONCRETO 210Kg/cm <sup>2</sup>	G	<b>0.5</b>
<b>VIGUETAS</b>			
J	VIGUETAS.-ACERO $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup>	Q	<b>0.5</b>
K	VIGUETAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	H	<b>1</b>
L	VIGUETAS.-CONCRETO $f_c=175$ kg/cm <sup>2</sup>	S	<b>0.5</b>
<b>LOSAS</b>			
<b>LOSAS MACIZA</b>			
M	LOSA MACIZA - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	H	<b>1</b>
N	LOSA MACIZA - ACERO $F_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	M	<b>0.5</b>
O	LOSA MACIZA - CONCRETO 210 kg/cm <sup>2</sup>	N	<b>0.5</b>
<b>LOSAS ALIGERADAS EN UNA DIRECCION</b>			
P	LOSA ALIGERADA.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	H	<b>3</b>
Q	LOSA ALIGERADA.- ACERO $f_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	P	<b>1</b>
R	LOSA ALIGERADA. - LADR. HUECO 15X30X30	Q	<b>1</b>
S	LOSA ALIGERADA. - LADR. HUECO 12X30X30	Q	<b>0.5</b>
T	LOSA ALIGERADA - CONCRETO 210 kg/cm <sup>2</sup>	S	<b>1</b>

Nota: Elaboración Propia.

Figura 7.

Cronograma Método PERT para un entrepiso



Nota. Elaboración Propia.



### 4.1.3. Presupuesto de la programación

Para la elaboración del presupuesto se ha tenido en cuenta el costo de Mano de Obra, Equipos, Materiales y Gastos generales. Asimismo, con la finalidad de realizar el análisis comparativo, se utilizaron los mismos costos unitarios para ambos métodos; sin embargo, para el análisis del presente método no se han subcontratado partidas. Finalmente, se utilizó concreto premezclado y encofrado metálico para reducir el tiempo de ejecución.

#### 4.1.3.1. Costos directos

En el análisis de costo directo se consideraron los recursos de mano de obra, materiales y equipos y herramientas necesarios para la ejecución del proyecto. En la tabla 4 se presentan los precios totales por cantidad de metrado a ejecutar.

**Tabla 4.**

*Costo directo por partida y tipo de recurso*

Descripción	Categorías	APU	Metrado	Precio Total
PLACAS.- ACERO $f_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	0.9		S/ 4,305.73
	Materiales	3.59	4784.15	S/ 17,175.09
	Equipos y herramientas	0.05		S/ 239.21
PLACAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Mano de obra	29.16		S/ 2.00
	Materiales	2.89	710.28	S/ 2,052.71
	Equipos y herramientas	6		S/ 4,261.68
PLACAS CONCRETO $f_c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> -	Mano de obra	18.87		S/ 1,268.46
	Materiales	214.2	67.22	S/ 14,398.74
	Equipos y herramientas	8		S/ 537.77
COLUMNAS.- ACERO $f_c=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	0.9		S/ 9,398.47
	Materiales	3.59	10442.74	S/ 37,489.44
	Equipos y herramientas	0.05		S/ 522.14
COLUMNAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Mano de obra	20.55		S/ 10,824.92
	Materiales	0.89	526.76	S/ 468.82
	Equipos y herramientas	9		S/ 4,740.84
COLUMNAS.- CONCRETO $f_c=$ 210Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	139.93		S/ 5,669.96
	Materiales	214.2	40.52	S/ 8,679.38
	Equipos y herramientas	8		S/ 324.16
VIGAS.- ACERO $f_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	0.9		S/ 11,168.65
	Materiales	3.59	12409.61	S/ 44,550.50
	Equipos y herramientas	0.05		S/ 620.48
VIGAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Mano de obra	30.38		S/ 20,049.87
	Materiales	31.73	659.97	S/ 20,940.83
	Equipos y herramientas	1.52		S/ 1,003.15
VIGAS - CONCRETO 210Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	139.93		S/ 12,479.45
	Materiales	246.75	89.18	S/ 22,006.04
	Equipos y herramientas	5		S/ 445.92
VIGUETAS.-ACERO $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	0.9		S/ 2,689.82
	Materiales	3.59	2988.69	S/ 10,729.39
	Equipos y herramientas	0.05		S/ 149.43

Descripción	Categorías	APU	Metrado	Precio Total
VIGUETAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Mano de obra	30.38		S/ 5,276.25
	Materiales	31.73	173.68	S/ 5,510.71
	Equipos y herramientas	1.52		S/ 263.99
VIGUETAS.-CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	139.93		S/ 1,414.41
	Materiales	246.75	10.11	S/ 2,494.15
	Equipos y herramientas	5		S/ 50.54
LOSA MACIZA - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Mano de obra	29.16		S/ 2,786.82
	Materiales	3.03	95.57	S/ 289.58
	Equipos y herramientas	7.52		S/ 718.69
LOSA MACIZA - ACERO f <sub>y</sub> =4200 Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	0.9		S/ 1,491.22
	Materiales	3.59	1656.91	S/ 5,948.30
	Equipos y herramientas	0.05		S/ 82.85
LOSA MACIZA - CONCRETO 210 kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	139.93		S/ 2,674.62
	Materiales	246.75	19.11	S/ 4,716.38
	Equipos y herramientas	5		S/ 95.57
LOSA ALIGERADA.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Mano de obra	29.16		S/ 27,463.33
	Materiales	3.03	941.82	S/ 2,853.70
	Equipos y herramientas	7.52		S/ 7,082.45
LOSA ALIGERADA.- ACERO f <sub>y</sub> =4200 Kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	0.9		S/ 5,158.87
	Materiales	3.59	5732.08	S/ 20,578.17
	Equipos y herramientas	0.05		S/ 286.60
LOSA ALIGERADA. - LADR. HUECO 15X30X30	Mano de obra	0.68		S/ 3,775.01
	Materiales	2.78	5551.49	S/ 15,433.13
	Equipos y herramientas	0.03		S/ 166.54
LOSA ALIGERADA. - LADR. HUECO 12X30X30	Mano de obra	0.54		S/ 1,238.67
	Materiales	2.99	2293.83	S/ 6,858.56
	Equipos y herramientas	0.03		S/ 68.81
LOSA ALIGERADA - CONCRETO 210 kg/cm <sup>2</sup>	Mano de obra	139.93		S/ 11,242.47
	Materiales	246.75	80.34	S/ 19,824.77
	Equipos y herramientas	5		S/ 401.72

Además, se presenta en la tabla 5 los gastos requeridos por el alquiler de la grúa en la ejecución de todo el proyecto en 40 días lo que equivale a 1.4 meses.

**Tabla 5.**

*Costo por alquiler de Torre Grúa*

Descripción	Cantidad	Meses	Tarifa Mensual	Subtotal (Soles)
Grúa Torre J5010 por mes * (200 horas mínimas mensual) hasta 48m– Horario Diurno	1	1.4	5,700.00	7,980.00
Operador (Trabajando de L a V, turno de 8.5 horas y sábado 5.5 horas.) – Horario Diurno	1	1.4	4,500.00	6,300.00
Examen ocupacional y Certificado de homologación operador	1	1.4	1,000.00	1,400.00
Seguro TREC y RC	1	1.4	250.00	350.00
Transformador	1	1.4	350.00	490.00
Accesorios: balde	1	1.4	300.00	420.00
			<b>TOTAL</b>	<b>16,940.00</b>

Nota: Elaboración Propia.

Para el cálculo de gastos generales se consideró el mismo precio unitario en ambos métodos, pero con una duración de dos meses de ejecución.

**Tabla 6.**

*Gastos Generales del método PERT*

<b>Gastos Generales</b>						
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Cant. Descripción</b>	<b>Cant. Unidad</b>	<b>Precio Unitario S/.</b>	<b>Valor Total S/.</b>
<b>I</b>	<b>Mano de Obra Indirecta</b>					
<b>A</b>	<b>Área de Producción</b>					
1	Gerente de Obra	Mes	1.4	0.2	6,000.00	1,680.00
2	Ing. Residente de Obra	Mes	1.4	1	5,000.00	7,000.00
3	Asistente de campo y oficina técnica	Mes	1.4	1	2,000.00	2,800.00
4	Ingeniero de Seguridad	Mes	1.4	1	3,000.00	4,200.00
5	Topógrafo	Mes	1.4	1	2,000.00	2,800.00
<b>B</b>	<b>Área Administrativa</b>					
1	Administrador	Mes	1.4	1	3,000.00	4,200.00
2	Almacenero principal	Mes	1.4	1	1,500.00	2,100.00
3	Vigilante	Mes	1.4	1	1,000.00	1,400.00
<b>III</b>	<b>Comunicaciones</b>					
1	Teléfono	Mes	2	1	30.00	60.00
2	Equipos de Comunicación / RPM	Mes	2	1	45.00	90.00
3	Servicio de internet	Mes	2	1	50.00	100.00
<b>IV</b>	<b>Materiales, Servicios y Equipos de Oficinas</b>					
1	Computadoras e Impresoras	Glb	1	1	1,000.00	1,000.00
2	Materiales de Oficina	Mes	1.4	1	100.00	140.00
<b>V</b>	<b>Gastos Financieros</b>					
1	Garantía de Fiel Cumplimiento de Contrato (Carta Fianza MC)	Mes	1.4	1	1,500.00	2,100.00
2	Garantía del Adelanto en Efectivo (Carta Fianza MC)	Mes	1.4	1	300.00	420.00
3	Garantía del Adelanto por Materiales (Carta Fianza MC)	Mes	1.4	1	600.00	840.00
<b>VI</b>	<b>Seguros</b>					
1	Accidentes Personales	Glb	1	1	1,300.00	1,300.00
<b>Total de Gastos Generales S/.</b>						<b>32,230.00</b>

Nota: Elaboración Propia.

Según la Tabla 6, los Gastos Generales son S/. 32,230.00 soles. Finalmente, en la Tabla 7 se presenta el resumen de los resultados del presupuesto para un tiempo de ejecución de 40 días analizado por el método PERT del que se obtuvo un presupuesto total de S/. 605, 773.93 soles.

Tabla 7.

*Resumen del presupuesto analizado por el método PERT*

Ítem	Descripción	Parcial	Porcentaje respecto a CD(%)
1	MANO DE OBRA	S/ 147,660.52	32.84%
2	EQUIPO Y HERRAMIENTAS	S/ 22,062.54	4.91%
3	MATERIALES	S/ 262,998.38	58.49%
4	ALQUILER DE GRÚA	S/ 16,940.00	3.77%
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (CD)</b>		<b>S/ 449,661.44</b>	
	GASTOS GENERALES (S/.)	S/ 32,230.00	7.2%
	UTILIDAD (7% de CD)	S/ 31,476.30	
	SUBTOTAL	S/ 513,367.74	
	IGV	S/ 92,406.19	
<b>TOTAL (S/.)</b>		<b>S/ 605,773.93</b>	

Nota: Elaboración Propia.

## 4.2. Programación Rítmica (Filosofía Lean Construction)

A continuación, se detalla las herramientas utilizadas relacionadas a la filosofía Lean Construction. En primer lugar, se obtuvo los metrados por piso del proyecto, a partir de estos se realizó la sectorización, trenes de trabajo y dimensionamiento de cuadrillas.

### 4.2.1. Sectorización

A partir de los metrados se propuso un número tentativo de sectores y diversas disposiciones de los mismos. Para cada sector se realizó el metrado, se procedió a realizar el balanceo de los metrados, es decir, seleccionar los sectores que posean valores similares entre sí. Este balanceo se realiza con el objetivo de que el flujo de trabajo sea continuo entre los sectores de trabajo.

Para el proyecto en estudio se optó por utilizar 4 sectores, en la Figura 8 se puede el tren de actividades de la primera semana para los 4 sectores. Las actividades por día para cada sector se muestran a continuación:

Primer día:

- Colocación de aceros en verticales (Placas y Columnas)
- Encofrado de verticales (Placas y Columnas)
- Vaciado de verticales (Placas y Columnas)

Segundo día:

- Desencofrado de verticales (Placas y Columnas)
- Encofrado de vigas
- Acero de vigas

Tercer día:

- Encofrado de fondo de los (aligerado/maciza)
- Colocación de ladrillos
- Colocación de acero en la losa
- Vaciado de vigas y losas

**Figura 8.**

*Tren de actividades para 4 sectores*

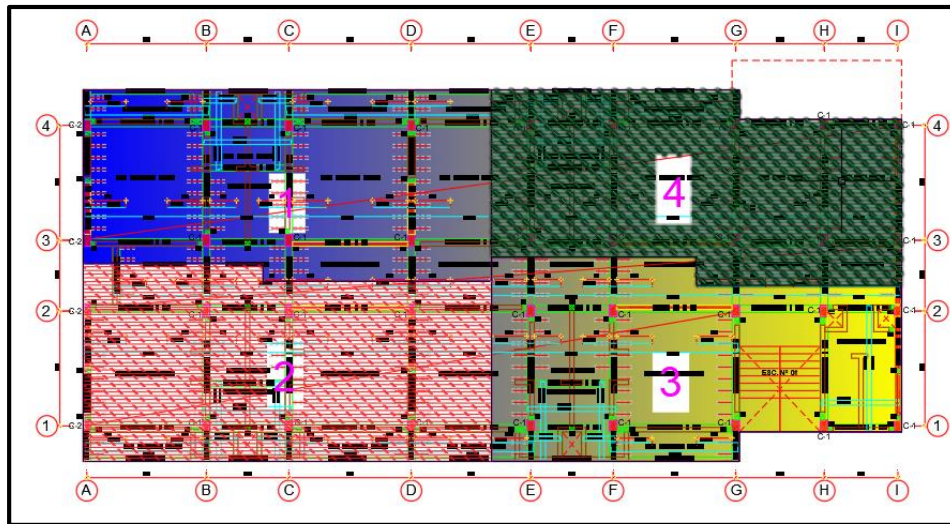
TREN DE ACTIVIDADES					
CASCO	DÍAS				
	1	2	3	4	5
Colocación de acero en verticales	S1P1	S2P1	S3P1	S4P1	S1P2
Encofrado de verticales (columnas y placas)	S1P1	S2P1	S3P1	S4P1	S1P2
Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)	S1P1	S2P1	S3P1	S4P1	S1P2
Desencofrado verticales (columnas y placas)		S1P1	S2P1	S3P1	S4P1
Encofrado de vigas		S1P1	S2P1	S3P1	S4P1
Acero de vigas		S1P1	S2P1	S3P1	S4P1
Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)			S1P1	S2P1	S3P1
Colocación de ladrillos			S1P1	S2P1	S3P1
Colocación de acero en la losa			S1P1	S2P1	S3P1
Vaciado de vigas y losas			S1P1	S2P1	S3P1

*Nota.* Elaboración Propia.

Además, se debe mencionar que se realizó dos tipos de sectorización. Una para vaciado de concreto, en la cual los límites entre los sectores se encuentran al tercio de los paños, de modo de que si se generan juntas se cumpla con el reglamento Nacional de Edificaciones (2009) que en su artículo 6.4.4 especifica que las juntas de construcción deberán estar ubicadas en el tercio central de la luz de losas y vigas. Por otro lado, la sectorización para encofrado incluye todo el paño. A continuación, se muestra la sectorización:

**Figura 9.**

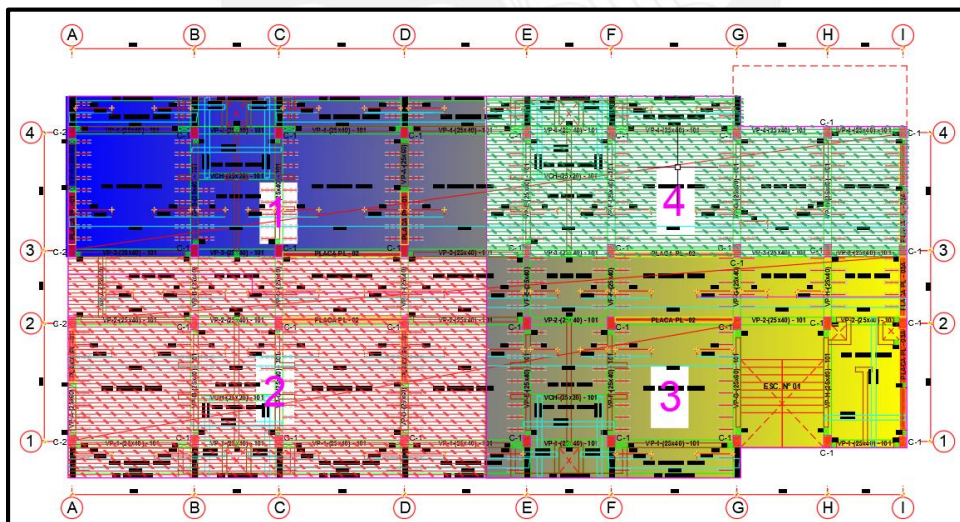
*Sectorización para vaciado de concreto en elementos horizontales*



Nota. Elaboración Propia.

**Figura 10.**

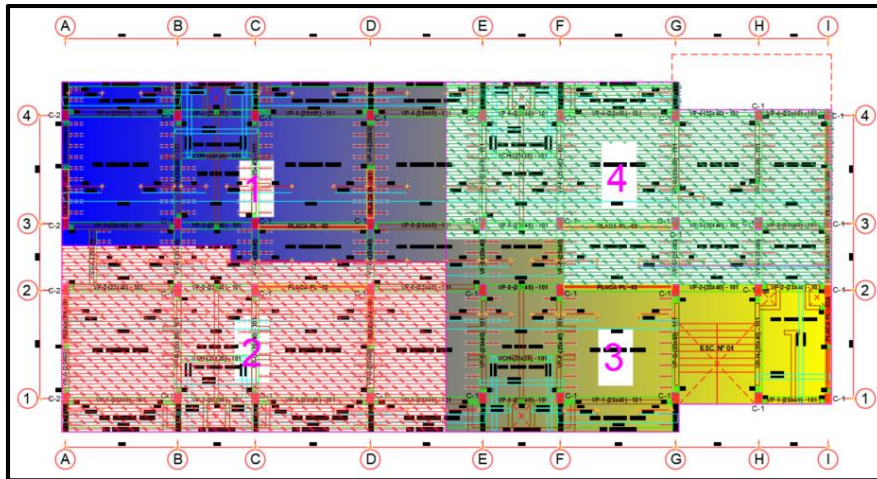
*Sectorización para encofrado de elementos horizontales*



Nota. Elaboración Propia.

**Figura 11.**

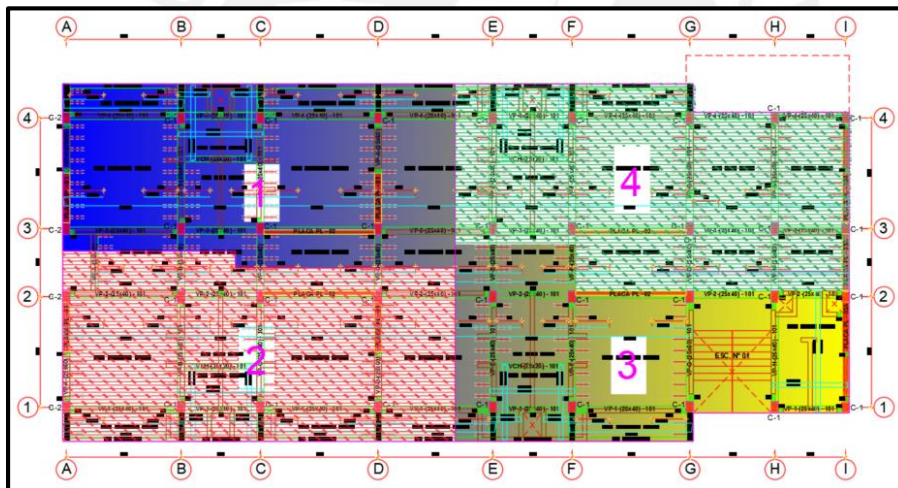
*Sectorización para vaciado de concreto en elementos verticales*



*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 12.**

*Sectorización para encofrado de elementos verticales*



*Nota.* Elaboración Propia.

#### **4.2.1.1. Programación detallada u horaria**

Para cumplir con lo estipulado se realizó el análisis de las actividades dentro del tren a través de la programación horaria. Se muestra la programación diaria detallada en conformidad con el número de sectores, esto con la finalidad de verificar si la sectorización es correcta. Como se muestra en la Figura 13 se establecieron los horarios para cada actividad involucrada en el tren y teniendo en consideración los días en los que se completa un sector.

**Figura 13.**

*Programación detallada u horaria para 4 sectores del día 1 al día 3.*

<b>SECTOR 1 PISO 1 - DIA 1</b>		
7:30:00 a. m.	12:30:00 p. m.	Colocación de acero en verticales
10:00:00 a.m.	12:30:00 p. m.	Encofrado de verticales (columnas y placas)
12:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	<b>Almuerzo</b>
1:30:00 p. m.	4:00:00 p. m.	Encofrado de verticales (columnas y placas)
4:00:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)
<b>SECTOR 2 PISO 1 - DIA 2</b>		
7:30:00 a. m.	12:30:00 p. m.	Colocación de acero en verticales
10:00:00 a.m.	12:30:00 p. m.	Encofrado de verticales (columnas y placas)
12:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	<b>Almuerzo</b>
1:30:00 p. m.	4:00:00 p. m.	Encofrado de verticales (columnas y placas)
4:00:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)
<b>SECTOR 1 PISO 1 - DIA 2</b>		
7:30:00 a. m.	12:00:00 p. m.	Desencofrado verticales (columnas y placas)
12:00:00 p. m.	1:00:00 p. m.	<b>Almuerzo</b>
1:00:00 p. m.	4:00:00 p. m.	Encofrado de vigas
3:00:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Acero de vigas
4:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Acero de vigas
<b>SECTOR 3 PISO 1 - DIA 3</b>		
7:30:00 a. m.	12:30:00 p. m.	Colocación de acero en verticales
10:00:00 a.m.	12:30:00 p. m.	Encofrado de verticales (columnas y placas)
12:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	<b>Almuerzo</b>
1:30:00 p. m.	4:00:00 p. m.	Encofrado de verticales (columnas y placas)
4:00:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)
<b>SECTOR 2 PISO 1 - DIA 3</b>		
7:30:00 a. m.	12:00:00 p. m.	Desencofrado verticales (columnas y placas)
12:00:00 p. m.	1:00:00 p. m.	<b>Almuerzo</b>
1:00:00 p. m.	4:00:00 p. m.	Encofrado de vigas
3:00:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Acero de vigas
4:00:00 p. m.	5:30:00 p.m.	Acero de vigas
<b>SECTOR 1 PISO 1 - DIA 3</b>		
7:30:00 a. m.	11:00:00 a. m.	Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)
11:00:00 a. m.	12:30:00 p. m.	Colocación de ladrillos
12:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	<b>Almuerzo</b>
1:30:00 p. m.	3:10:00 p. m.	Colocacion de acero en la losa
3:10:00 p. m.	5:10 p. m.	Vaciado de vigas y losas

*Nota.* Elaboración Propia.

#### **4.2.2. Trenes de trabajo**

Tal como se mencionó en el Capítulo 2, la filosofía Lean hace uso las líneas de producción en las fábricas. En el ámbito de la construcción se usa la metodología del tren de actividades que se asemeja a este sistema industrializado. Se estableció un orden para las actividades del tren de modo que las cuadrillas puedan realizar el trabajo de forma secuencial y lógica. Esta forma de trabajo repetitivo permitiría generar curvas de aprendizaje y en consecuencia aumentar la productividad en dichos trabajos a medida que se avanza con la edificación.

Para la elaboración del tren de actividades se tuvo las siguientes consideraciones:



- El número de horas diarias trabajadas será de 9.6 horas para cumplir con 48 horas semanales.
- Además, el horario de trabajo es de lunes a viernes.
- Los días sábados se los considera como Buffer de tiempo.
- Se completa un sector en 3 días.
- Se completa un piso en 6 días.

**Figura 14.**

*Tren de trabajo para el caso de la edificación*

TREN DE ACTIVIDADES	ME													
	SEMANA 1							SEMANA 2						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CASCO	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
Colocación de acero en verticales	S1P1	S2P1	S3P1	S4P1	S1P2			S2P2	S3P2	S4P2	S1P3	S2P3		
Encofrado de verticales (columnas y placas)	S1P1	S2P1	S3P1	S4P1	S1P2			S2P2	S3P2	S4P2	S1P3	S2P3		
Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)	S1P1	S2P1	S3P1	S4P1	S1P2			S2P2	S3P2	S4P2	S1P3	S2P3		
Desencofrado verticales (columnas y placas)		S1P1	S2P1	S3P1	S4P1			S1P2	S2P2	S3P2	S4P2	S1P3		
Encofrado de vigas		S1P1	S2P1	S3P1	S4P1			S1P2	S2P2	S3P2	S4P2	S1P3		
Acero de vigas		S1P1	S2P1	S3P1	S4P1			S1P2	S2P2	S3P2	S4P2	S1P3		
Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)			S1P1	S2P1	S3P1			S4P1	S1P2	S2P2	S3P2	S4P2		
Colocación de ladrillos			S1P1	S2P1	S3P1			S4P1	S1P2	S2P2	S3P2	S4P2		
Colocación de acero en la losa			S1P1	S2P1	S3P1			S4P1	S1P2	S2P2	S3P2	S4P2		
Vaciado de vigas y losas			S1P1	S2P1	S3P1			S4P1	S1P2	S2P2	S3P2	S4P2		

TREN DE ACTIVIDADES	ME													
	SEMANA 3							SEMANA 4						
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
CASCO	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
Colocación de acero en verticales	S3P3	S4P3	S1P4	S2P4	S3P4			S4P4						
Encofrado de verticales (columnas y placas)	S3P3	S4P3	S1P4	S2P4	S3P4			S4P4						
Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)	S3P3	S4P3	S1P4	S2P4	S3P4			S4P4						
Desencofrado verticales (columnas y placas)	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4	S2P4			S3P4	S4P4					
Encofrado de vigas	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4	S2P4			S3P4	S4P4					
Acero de vigas	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4	S2P4			S3P4	S4P4					
Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)	S1P3	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4			S2P4	S3P4	S4P4				
Colocación de ladrillos	S1P3	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4			S2P4	S3P4	S4P4				
Colocación de acero en la losa	S1P3	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4			S2P4	S3P4	S4P4				
Vaciado de vigas y losas	S1P3	S2P3	S3P3	S4P3	S1P4			S2P4	S3P4	S4P4				

Nota. Elaboración propia.

### 4.2.3. Dimensionamiento de Cuadrillas

A partir de la programación detallada, se pudo establecer el número de cuadrillas que se necesitan para cumplir con el tren de trabajo. A continuación, se muestra cómo estarán conformadas las cuadrillas y los valores de la producción.

**Figura 15.**

*Conformación de cuadrillas y producción*

CASCO	Numero de obreros por cuadrilla básica	Cuadrilla				Producción (und/día) - 8h	Producción (und/día) - 9.6h
		Capataz	Operarios	Oficial	Peon		
Colocación de acero en verticales	2	0.1	1	1	-	500	600
Encofrado de verticales (columnas y placas)	2	0.1	1	1	-	17	20.4
Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)	3	0.1	1	1	1	50	60
Desencofrado verticales (columnas y placas)	3	0.1	1	1	1	20	24
Encofrado de vigas	3	0.1	1	1	1	15	18
Acero de vigas	2	0.1	1	1	-	500	600
Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)	3	0.1	1	1	1	45	54
Colocación de ladrillos	9	0.1	1	1	7	2000	1964
Colocacion de acero en la losa	2	0.1	1	1	-	500	600
Vaciado de vigas y losas	3	0.1	1	1	1	50	60

*Nota.* Elaboración Propia.

Conociendo cómo estarán conformadas las cuadrillas y la programación detallada se obtuvo el número de cuadrillas necesarias para realizar el trabajo.

**Figura 16.**

*Número de cuadrillas para cada partida*

CASCO	Número de cuadrillas a usar	Número de trabajadores
Colocación de acero en verticales	5	10
Encofrado de verticales (columnas y placas)	6	12
Vaciado de concreto verticales (columnas y placas)	2	6
Desencofrado verticales (columnas y placas)	7	21
Encofrado de vigas	3	9
Acero de vigas	6	12
Encofrado de fondo de losa (aligerado/maciza)	6	18
Colocación de ladrillos	2	18
Colocacion de acero en la losa	4	8
Vaciado de vigas y losas	2	6

*Nota.* Elaboración Propia.

#### 4.2.4. Last Planner

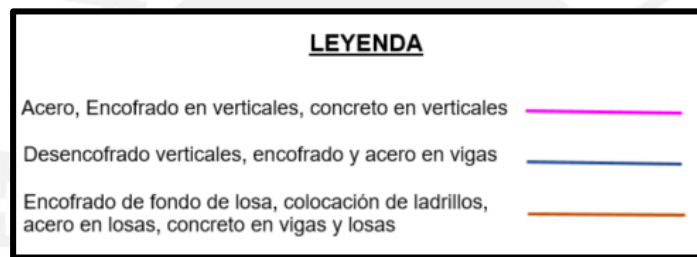
##### 4.2.4.1. Planificación Maestra

La planificación maestra o master Schedule se realizó mediante el método de Líneas de Balance. Esta es una técnica de planificación que muestra las actividades que se realizarán en el proyecto, permite observar la secuencia lógica de estas y la velocidad con las que se realizarán. A continuación, se muestra las líneas de balance para el

presente proyecto de edificación:

**Figura 17.**

*Planificación Maestra*



*Nota.* Elaboración Propia.

#### 4.2.5. Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se consideraron los siguientes puntos:

- Se incluye en el presupuesto Mano de Obra, Equipos, Materiales y Gastos Generales relacionados con el tiempo de ejecución de obra.
- Los costos unitarios para las partidas correspondientes a Materiales se han considerado iguales a los del método PERT para que se pueda realizar la comparación entre ambos métodos más adelante.
- El concreto para la obra se obtendrá premezclado y el encofrado será metálico para poder cumplir con el tiempo estipulado en el tren de trabajo.
- Las cuadrillas serán subcontratadas y el pago de mano de obra se realizará por Hora Hombre.
- El costo de Mano de Obra para cada categoría se muestra a continuación:

**Tabla 8.***Costo de Hora Hombre*

<b>Categorías</b>	<b>Costo de Hora Hombre (S/. X H-H)</b>
Operario	15.12
Oficial	13.14
Peón	11.84

Nota: Elaboración Propia.

**4.2.5.1. Costos directos**

El costo directo incluye los costos de materiales, mano de obra, equipos, herramientas y elementos requeridos para la ejecución de la obra. Para la obtención del costo de equipos, herramientas y materiales se consideró el aporte unitario, mismo que se indicó en el apartado del método PERT, y el precio de cada uno. El costo de mano de obra se calculó multiplicando las horas hombre por el costo establecido en la Tabla 9 según la categoría, los resultados que se obtuvieron se muestran a continuación:

**Tabla 9.***Costo de Mano de Obra*

<b>Día</b>	<b>Costo Mano Obra</b>
1	S/2,621.31
2	S/5,210.61
3	S/6,775.05
4	S/6,775.05
5	S/6,775.05
6	S/6,775.05
7	S/6,775.05
8	S/6,775.05
9	S/6,775.05
10	S/6,775.05
11	S/6,775.05
12	S/6,775.05
14	S/6,775.05
15	S/6,775.05
16	S/6,775.05
17	S/4,153.74
18	S/1,564.44
<b>Total</b>	<b>S/101,625.82</b>

Nota: Elaboración Propia.

Asimismo, se presenta en la Tabla 10 el detalle del costo directo de equipos y herramientas de cada una de las partidas, tomando en cuenta el metrado de cada una de las mismas.

**Tabla 10**

*Costo directo de equipos*

Descripción		APU	Metrado	Total
<b>PLACAS CONCRETO PREMEZCLADO</b>	VIBRADOR DE CONCRETO	8.00	67.22	537.77
<b>PLACAS.- ACERO fy=4200 Kg/cm2</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.05	4784.15	239.21
<b>COLUMNAS.- CONCRETO fc=210Kg/cm2</b>	VIBRADOR DE CONCRETO	8.00	40.52	324.16
<b>COLUMNAS.- ACERO fc=4200Kg/cm2</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.05	10442.74	522.14
<b>VIGAS - CONCRETO 210Kg/cm2</b>	VIBRADOR DE CONCRETO	5.00	89.18	445.92
<b>VIGAS.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	1.52	659.97	1003.15
<b>VIGAS.- ACERO fy=4200 Kg/cm2</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.05	12409.61	620.48
<b>LOSA MACIZA- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>	TRIPLAY DE 4 mm	1.00	1656.91	1656.91
	MADERA TORNILLO CEPILLADA	2.56	1656.91	4241.68
	PANELES FENOLICOS ARAUCO 1.20X2.40X0.019	3.96	1656.91	6561.36
<b>LOSA MACIZA - ACERO f'y=4200 Kg/cm2</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.05	1656.91	82.85
<b>LOSA ALIGERADA. - LADR. HUECO 15X30X30</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.03	5551.49	166.54
<b>LOSA ALIGERADA. - LADR. HUECO 12X30X30</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.03	2293.83	68.81
<b>LOSA ALIGERADA.- ACERO f'y=4200 Kg/cm2</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	0.05	5732.08	286.60
<b>LOSA ALIGERADA - CONCRETO 210 kg/cm2</b>	VIBRADOR DE CONCRETO	5.00	80.34	401.72
<b>LOSA ALIGERADA.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>	HERRAMIENTAS MANUALES	1.14	941.82	1073.67
<b>PLACAS PISOS SUP- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO METÁLICO</b>	ENCOFRADO METÁLICO	6.00	710.28	4261.68
<b>COLUMNAS PISOS SUP.- ENCOFRADO Y DESENCOFRADO METÁLICO</b>	ENCOFRADO METÁLICO PARA COLUMNAS	9.00	526.76	4740.84
			<b>TOTAL s/.</b>	<b>27235.49</b>

Nota: Elaboración Propia.

Para la ejecución de obra se consideró el alquiler de una grúa por un mes. La cotización del alquiler de grúa se presenta a continuación en la Tabla 11, los valores de las tarifas se obtuvieron de proyectos pasados.

**Tabla 11.**

*Cotización de alquiler de grúa*

Descripción	Cant.	Meses	Tarifa Mínima Mensual	Subtotal (Soles sin IGV)
Grúa Torre J5010 por mes * (200 horas mínimas mensual) hasta 48m– Horario Diurno	1	1	5,700.00	5,700.00
Operador (Trabajando de L a V, turno de 8.5 hrs y Sábado 5.5 hrs.) – Horario Diurno	1	1	4,500.00	4,500.00
Examen ocupacional y Certificado de homologación operador	1	1	1,000.00	1,000.00
Seguro TREC y RC	1	1	250.00	250.00
Transformador	1	1	350.00	350.00
Accesorios: balde	1	1	300.00	300.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/12,100.00</b>

Nota: Elaboración Propia.

Debido a que el tiempo de ejecución del proyecto será menor que al utilizar el Método PERT, se tuvo en cuenta los Gastos Generales relacionados con el tiempo de ejecución de obra.

**Tabla 12.**

*Gastos Generales del método de Programación Rítmica*

<b>Gastos Generales</b>						
Ítem	Descripción	Und.	Cant. Descripción	Cant. Unidad	Precio Unitario S/.	Valor Total S/.
I	<b>Mano de Obra Indirecta</b>					
A	<b>Área de Producción</b>					
1	Gerente de Obra	Mes	1	0.2	6,000.00	1,200.00
2	Ing. Residente de Obra	Mes	1	1	5,000.00	5,000.00
3	Asistente de oficina técnica	Mes	1	1	2,500.00	2,500.00
4	Asistente campo	Mes	1	1	2,500.00	2,500.00
5	Ingeniero De seguridad	Mes	1	1	3,000.00	3,000.00
6	Jefe de tren (Bono de productividad)	Mes	1	4	1,000.00	4,000.00

7	Topógrafo	mes	1	1	2,500.00	2,500.00
<b>B Área Administrativa</b>						
1	Administrador	Mes	1	1	3,000.00	3,000.00
2	Almacenero principal	Mes	1	1	1,500.00	1,500.00
3	Vigilante	Mes	1	1	1,000.00	1,000.00
<b>III Comunicaciones</b>						
1	Teléfono	Mes	1	1	30.00	30.00
2	Equipos de Comunicación / RPM	Mes	2	1	45.00	45.00
3	Servicio de internet	Mes	1	1	50.00	50.00
<b>IV Materiales, Servicios y Equipos de Oficinas</b>						
1	Computadoras e Impresoras	Glb	1	1	1,500.00	1,500.00
2	Materiales de Oficina	Mes	1	1	100.00	100.00
<b>V Gastos Financieros</b>						
1	Garantía de Fiel Cumplimiento de Contrato (Carta Fianza MC)	Mes	1	1	1,500.00	1,500.00
2	Garantía del Adelanto en Efectivo (Carta Fianza MC)	Mes	1	1	300.00	300.00
3	Garantía del Adelanto por Materiales (Carta Fianza MC)	Mes	1	1	600.00	600.00
<b>VI Seguros</b>						
1	Accidentes Personales	Glb	1	1	1,300.00	1,300.00
					<b>Total de Gastos Generales S/.</b>	<b>31,625.00</b>

Nota: Elaboración Propia.

El total de Gastos Generales será de 31 625, 00 soles tal como se indica en la Tabla 12. A continuación, se muestran el resumen de los resultados de la elaboración del presupuesto:

**Tabla 13.**

*Resumen del presupuesto del proyecto método de Programación Rítmica*

Ítem	Descripción	Parcial	Porcentaje respecto al CD (%)
01	MANO DE OBRA	S/ 101,625.82	25.2%
02	EQUIPO Y HERRAMIENTAS	S/ 27,235.49	6.7%
03	MATERIALES	S/ 262,998.38	65.1%
04	ALQUILER DE GRÚA	S/ 12,100.00	3.0%
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (CD)</b>		<b>S/403,959.69</b>	
GASTOS GENERALES (S/.)		S/31,625.00	7.8%
UTILIDAD (7% de CD)		S/28,277.18	7.0%
SUBTOTAL		S/463,861.87	
IGV		S/83,495.14	
<b>TOTAL (S/.)</b>		<b>S/547,357.00</b>	

Nota: Elaboración Propia.

Como se muestra en la Tabla 13 el costo total directo es de 403 959,69 soles. Y el presupuesto total considerando gastos y utilidad para la ejecución actividades de análisis es de 547 357,00 soles.

#### 4.3. Comparación del método PERT y Programación Rítmica.

A partir de los resultados obtenidos anteriormente para ambas metodologías se obtuvo la Tabla 14 en la cual se comparan los criterios relacionado al presupuesto y plazo de ejecución del proyecto.

**Tabla 14.**

*Comparación en relación al Plazo y Presupuesto de la ejecución del proyecto*

<b>CRITERIO</b>	<b>MÉTODO DE PROGRAMACIÓN RÍTMICA</b>	<b>MÉTODO PERT</b>
<b>PLAZO</b>	3.5 semanas	6.6 semanas
<b>PRESUPUESTO</b>	S/547,357.00	S/605,773.93

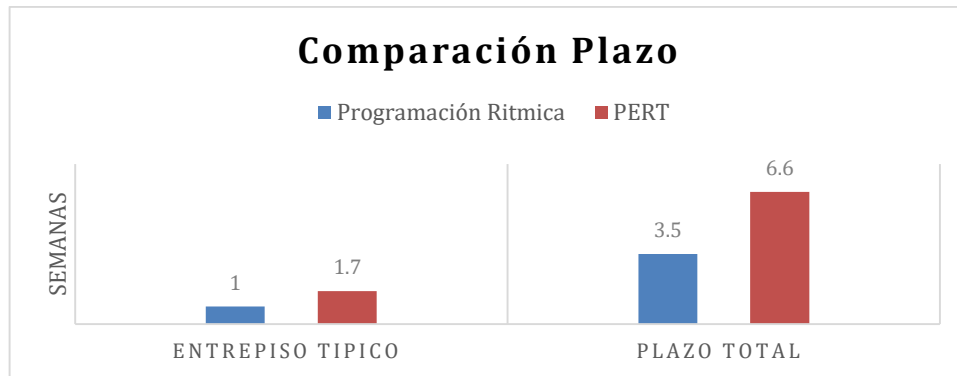
Nota: Elaboración Propia.

Además, a continuación, se muestra la comparación a detalle a partir de todos los resultados obtenidos en el análisis. Esta comparación incluye plazos, costos de mano de obra, costo de equipos, costo directo y gastos generales. En primer lugar, en la Figura 18, se puede observar la diferencia entre a nivel de plazo de ejecución del proyecto, para el método de Programación Rítmica este plazo es de 3.5 semanas y el método PERT tiene un plazo de 6.6 semanas. También se realizó la comparación del tiempo de ejecución de un entrepiso típico utilizando cada método, con el de programación rítmica se ejecuta en 1 semana mientras que por PERT se realiza en 1.7 semanas.



**Figura 18.**

*Comparación a nivel de plazo*

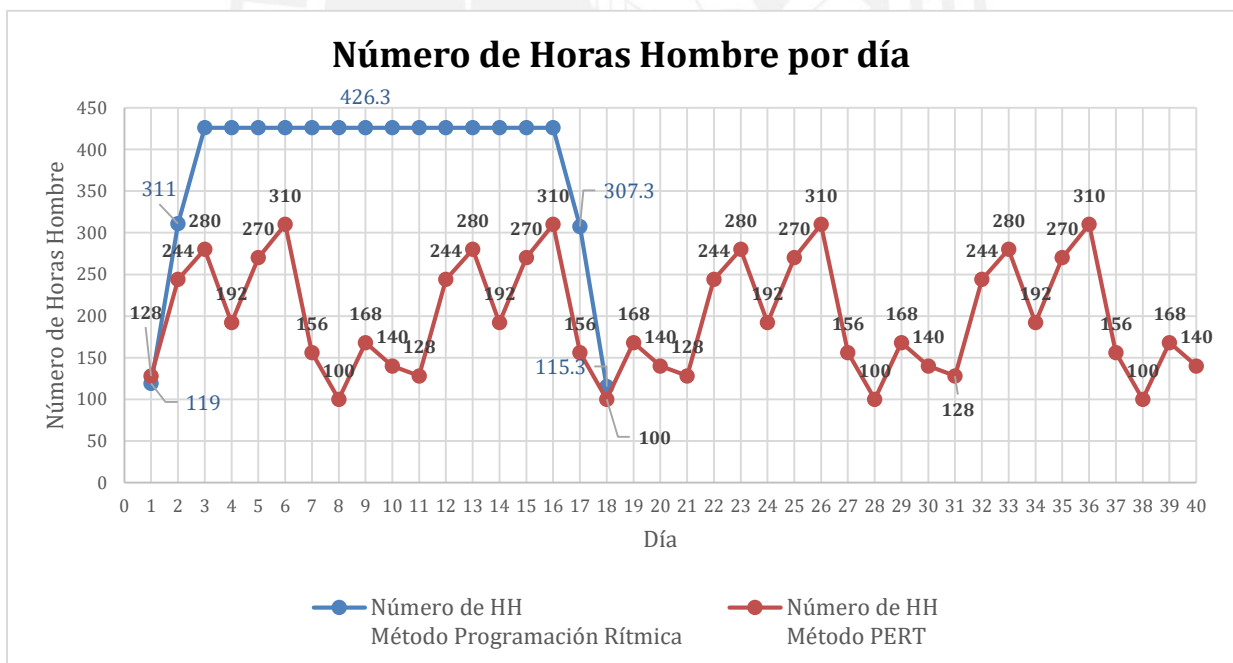


*Nota.* Elaboración propia.

En la Figura 19 se muestra un gráfico comparativo entre ambos métodos relacionado a las horas hombre de cada día laborable. Se puede observar que el uso de horas hombres en el método de programación rítmica es menos variable que en PERT.

**Figura 19.**

*Comparación de horas hombre por día*



*Nota.* Elaboración propia.

Por otro lado, en la Tabla 15 se muestra el análisis detallado del presupuesto. En la Figura 20, se puede observar la variación para cada criterio relacionado a cada método.

**Tabla 15.**

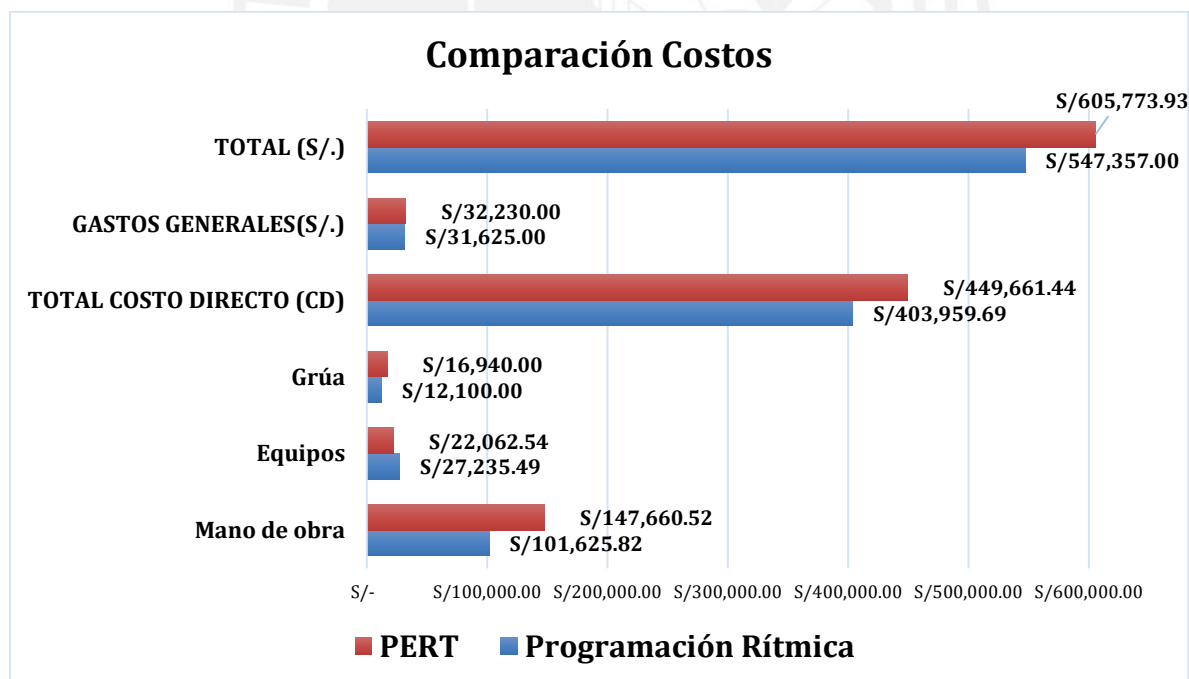
*Comparación a Nivel de Costos*

<b>Criterio</b>	<b>Programación Rítmica</b>	<b>PERT</b>
<b>Plazo (semanas)</b>	3.5	6.6
<b>Mano de obra</b>	S/ 101,625.82	S/ 147,660.52
<b>Materiales</b>	S/ 262,998.38	S/ 262,998.38
<b>Equipos</b>	S/ 27,235.49	S/ 22,062.54
<b>Grúa</b>	S/ 12,100.00	S/ 16,940.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (CD)</b>	S/403,959.69	S/ 449,661.44
<b>GASTOS GENERALES(S/.)</b>	S/ 31,625.00	S/ 32,230.00
<b>UTILIDAD (7% de CD)</b>	S/ 28,277.18	S/ 31,476.30
<b>SUBTOTAL</b>	S/ 463,861.87	S/ 513,367.74
<b>IGV</b>	S/ 83,495.14	S/ 92,406.19
<b>TOTAL (S/.)</b>	<b>S/ 547,357.00</b>	<b>S/ 605,773.93</b>

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 20.**

*Comparación a Nivel de Costos*



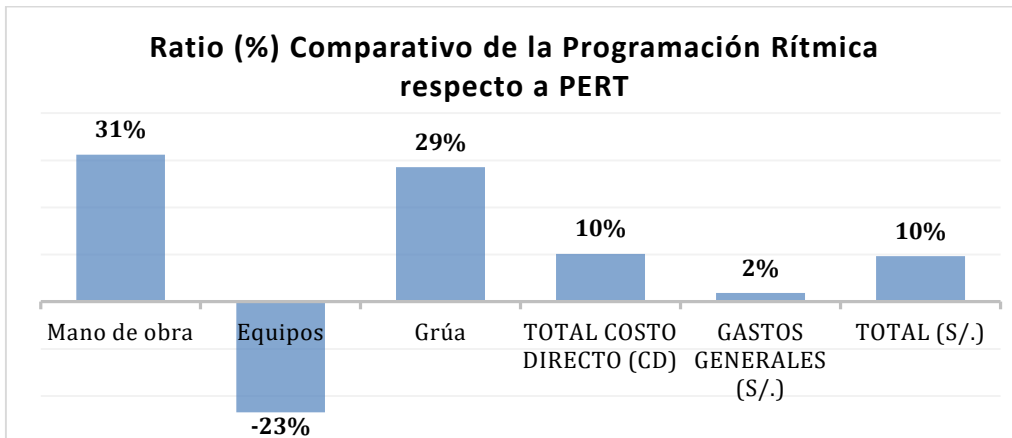
*Nota.* Elaboración propia

Para poder visualizar la variación del método de Programación Rítmica respecto a PERT, la Figura 21, muestra el ratio comparativo de los costos del método de la Programación Rítmica respecto a PERT que se utiliza tradicionalmente. Se puede

observar que el único valor que excede el método de Programación Rítmica al método PERT es en equipos. En relación a mano de obra, grúa, CD y GG el método de Programación Rítmica es el que tiene menor costo. Por lo tanto, esto se ve reflejado en el valor total del presupuesto.

**Figura 21.**

*Ratio (%) Comparativo entre el presupuesto de la Programación Rítmica respecto a PERT.*

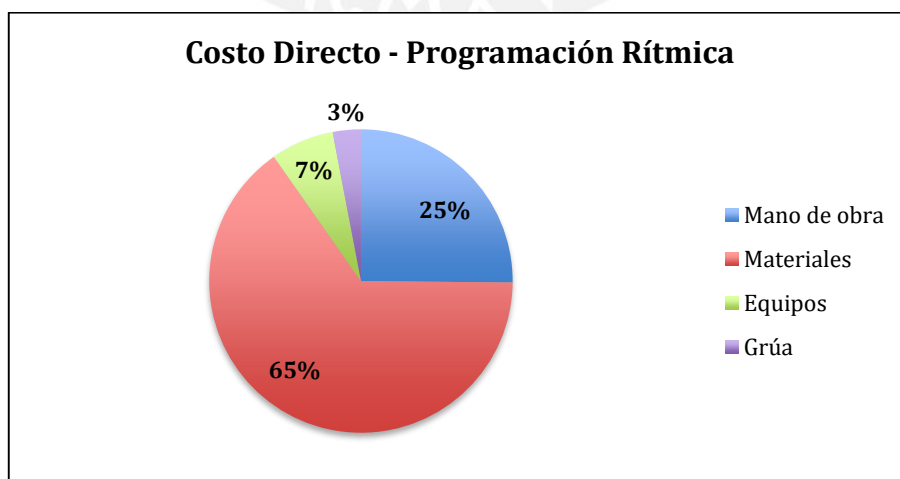


*Nota.* Elaboración propia

Además, el costo directo que se obtuvo a partir de cada método se ha dividido en mano de obra, materiales, equipos y grúa. De este modo se puede apreciar en las Figuras 22 y 23 los diagramas con la distribución del costo directo correspondiente a cada uno de los métodos de programación.

**Figura 22.**

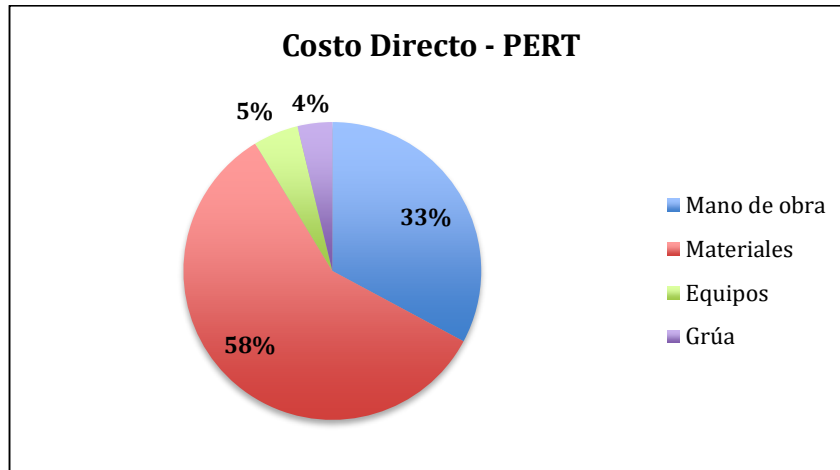
*Costo Directo correspondiente a la Programación Rítmica.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 23.**

*Costo Directo correspondiente al Método PERT.*

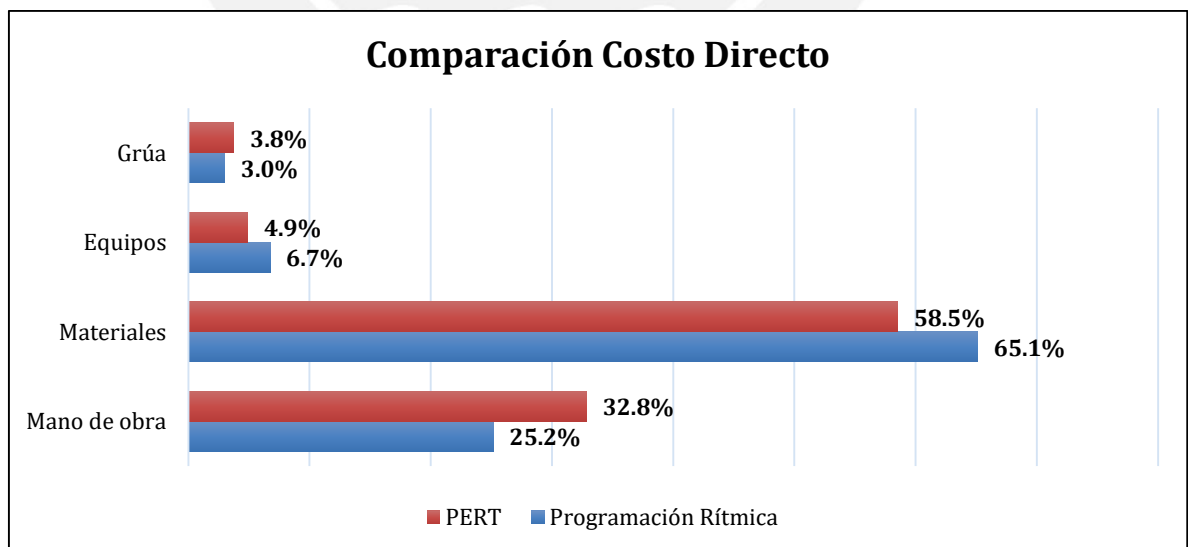


*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 24 resume los porcentajes correspondientes a cada método, se puede apreciar que el porcentaje correspondiente a equipos y materiales respecto al Costo Directo del método de Programación Rítmica es mayor que el correspondiente al método PERT. Así mismo, el porcentaje destinado a mano de obra y grúa es mayor en el método PERT.

**Figura 24.**

*Comparación de porcentajes de costo directo de cada método.*



*Nota.* Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- En primer lugar, se concluye que para el tipo de edificación la más adecuada es la Programación Rítmica pues mediante la programación a partir de la sectorización se obtuvo un 10% menos del costo total del presupuesto respecto del método PERT y el plazo se redujo en 47% respecto al método de PERT.
- La mayor incidencia en el costo directo, luego de materiales, es el costo de mano de obra en ambos casos; sin embargo, en el método PERT es mayor, ya que se trabajan más días. Cabe mencionar que el costo en el método de programación rítmica es menor debido a que la mano de obra fue subcontratada y el pago se realiza por hora hombre trabajada.
- Además, se puede apreciar que las horas hombre que se emplea en el método PERT cada día es mucho menor que las empleadas en el método de programación rítmica, debido a la existencia de actividades que deben ser culminadas para poder continuar con las siguientes. Así mismo, se puede apreciar que el uso de horas hombre en el método de programación rítmica es casi constante pues se realizó una programación detallada u horaria para lograr este balance.
- A nivel de Gastos Generales el método PERT no requiere de especialistas en gestión de recursos en contraste al método de programación rítmica. Además, debido a que solo se cuenta con un frente de trabajo el plazo de ejecución es mayor, significando este un costo de gastos generales mayor al método de programación rítmica hasta en un 2%.
- El uso del método de programación rítmica es muy útil y beneficioso, en líneas generales, como herramienta de gestión, en proyectos donde se pueda sectorizar de manera adecuada en lotes de producción, y las cuales se realicen tareas o partidas repetitivas que, además, permita un aumento en la productividad debido a la curva de aprendizaje y a la reducción de la variabilidad en las actividades.
- Se puede concluir que el costo directo de equipos es mayor mediante la aplicación del método de programación rítmica; sin embargo, esto es debido a que se considera el costo de subcontrato realizado para encofrado y desencofrado metálico en verticales. Asimismo, el costo directo de la torre grúa es menor, ya que se contrata por un menor tiempo.

## 5.2. Recomendaciones

- Para futuras investigaciones se recomienda analizar otro tipo de construcción de modo que se pueda comprobar si el método de programación rítmica ofrece ventajas al igual que en el presente caso de estudio.
- El método de programación rítmica demuestra un ahorro en el presupuesto de un proyecto como en el plazo de ejecución del mismo para el tipo de edificación estudiado en el presente trabajo, debido a que este se compone por bloques de estructuras similares. Por lo tanto, se puede pronosticar que su aplicación en trabajos de construcción por lotes, como la construcción de carreteras, canales, pilares de puentes, entre otros, puede generar una optimización de recursos y plazos de entrega.
- Si se requiere tener un mayor control de la movilización de las cuadrillas, se recomienda usar el método de programación rítmica, ya que este permite realizar una programación diaria detallada tomando en cuenta la cantidad de trabajadores que se tendrá en un determinado sector o lote de producción y el tiempo requerido para terminar la actividad o partida asignada.
- Se recomienda realizar una programación horaria para el método de programación rítmica para así poder conocer si es posible concluir con los trabajos asignados en el día y conocer exactamente cuántas cuadrillas asignar a cada tarea. Asimismo, se puede plantear un orden de trabajo dentro del mismo sector para realizar; por ejemplo, el acero y encofrado de verticales.
- Se recomienda aplicar el método PERT cuando no es posible dividir el proyecto en lotes o sectores, de esta manera se puede controlar la producción y el avance del proyecto con la ruta crítica trazada y de acuerdo a ello elegir insumos y recursos que permitan optimizar la misma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. (2010). Estudio comparativo de la productividad de construcción de casas en serie, utilizando el método de planificación tradicional y el sistema del último planificador. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Amarante, A. et al. (2015). Planeamiento y control de ejecución de una vivienda unifamiliar de un nivel ubicada en San Francisco de Macorís año 2015, mediante el uso de los métodos PERT y CPM. Universidad Católica Nordestana. República Dominicana.
- Arapa M. Victor y Maldonado L. Fanny (2019). Análisis de la eficiencia del empleo de encofrados metálicos y madera en la construcción de edificios de la ciudad del cusco -2017. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco, Perú.
- Arias, K y Yapuchura, V. (2019). Aplicación del método Last Planner System enfocado a criterios de sectorización para la construcción de centros comerciales, en la provincia de Tacna - 2018. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- Fernandez Reynaga, R. (2018). Evolución en la Gestión de Obras de los años 80-2017- filosofía Lean Construcción. Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú.
- Bajjou Saad Mohamed et al. (2017). A Comparative Study between Lean Construction and the Traditional Production System. International Journal of Engineering Research in Africa, Morocco.
- Brioso, X. (2015). El análisis de la construcción sin pérdidas (lean construction) y su relación con el project & construction management: propuesta de regulación en España y su inclusión en la ley de la ordenación de la edificación [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica De Madrid, Madrid, España.

- Castillo Maguiña, I. (2014). Inventario de Herramientas del sistema de entrega de proyectos lean (LPDS) [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castro, J. y Pajares, J. (2014). Propuesta e implementación de sectorización y trenes de trabajo para acabados interiores bajo la filosofía Lean Construction, en obras de construcción de viviendas masivas [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Corilla S. (2016). Implementación del “Pull Planning” para mejorar la confiabilidad de la programación de la etapa de acabados en una edificación de oficinas [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Delgado, R. (2020). Impacto del COVID 19 en el Ejercicio de la Ingeniería Civil y Cambios Necesarios.
- Doréa Matos, A. y Valderrama, F. (2014). Métodos de Planificación y Control de Obra. Barcelona, España. Editorial: Reverté.
- Durand, J. (2017). Propuesta de gestión del planeamiento de obras de edificación mediante la metodología de líneas de flujo, el valor ganado y el resultado operativo proyectado en pequeñas y medianas empresas (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Guzmán Tejada, A. (2014). Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5778?show=full>



Howell, G. (1999). *A Guide to the Last Planner for Construction. Foremen and Supervisors.*  
Lean Construction Institute.

Koskela, Lauri (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*  
[Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción]. Stanford  
University.

López Aguilar, A. (2017). *Planificación, programación y control de proyectos: pert y cpm.*  
Universidad de Jaén, Jaén, España. Recuperado de  
<https://hdl.handle.net/10953.1/7136>

Moreno Hernandez, I. (2017). *Análisis, uso y aplicabilidad de las técnicas PERT Y CPM  
para la organización y planificación en la Armada: aplicación a un caso real.*  
Universidad. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar,  
Pontevedra, España. Recuperado de  
<http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/235>

Mohanbir Sawhney (2003) *The Seven Fundamentals of Value (according to Mohanbir  
Sawhney).* Recuperado de [https://www.cio.com/article/2441854/the-seven-  
fundamentals-of-value--according-to-mohanbirsawhney.html](https://www.cio.com/article/2441854/the-seven-fundamentals-of-value--according-to-mohanbirsawhney.html)

Orihuela, P. y Ulloa, K. (2011). *La planificación de las obras y el Sistema Last Planner.*  
*Construcción Integral*, boletín N°12. Recuperado de:  
[http://www.motiva.com.pe/articulos/La\\_Planificacion\\_Obras\\_Sistema\\_LastPlanner.pdf](http://www.motiva.com.pe/articulos/La_Planificacion_Obras_Sistema_LastPlanner.pdf)

Porras, H., Sánchez, G. y Galvis, J. (2014). *Filosofía Lean Construction para la gestión de  
proyectos de construcción: una revisión actual. Avances Investigación en Ingeniería,*  
*Volumen 11* (No. 1). Recuperado de:  
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/download/298/235>

- Rojas, J. (2018). Aportes para investigar la gestión de la construcción sin pérdidas. Revista Arquitectura Más, volumen 3 (Número 5). Recuperado de <http://www.revistas.uni.edu.ni/index.php/arquitectura/article/view/261/>
- Sánchez, A., Cruz, D. y Benavides, P. (2004). Implementación del sistema de lean construction para la mejora de productividad en la ejecución de los trabajos de estructuras en obras de edificación de viviendas [Tesis de posgrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Serpell, Alfredo (1999). “Administración de obras de construcción”. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad Católica de Chile.
- Serpell, A. y Alarcón, L. (2001). Planificación y control de proyectos. Santiago, Chile. Editorial: Ediciones UC.
- Toro Neira, C. (2017). Propuesta de mejoramiento para la planificación, programación y control de obras de edificación en altura. Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, Chile.
- Womack, J & Jones, D. (2003) “Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation”. Simon & Schuster, New York.