

## PROGRAMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TERCER ANILLO DE MUROS ANCLADOS DE UNA EDIFICACIÓN APLICANDO EL MÉTODO DE LÍNEAS DE BALANCE

### PROGRAMMING OF THE CONSTRUCTION OF THE THIRD RING OF ANCHORED WALLS OF A BUILDING APPLYING THE BALANCING LINES METHOD

Steven Paredes\_Gutierrez, Hubert Torres\_Tacuri, Rosmery Gómez\_Minaya

*Universidad Tecnológica del Perú (UTP)*

C17524@utp.edu.pe

(Recibido el 16 de noviembre 2019, aceptado para publicación el 3 de junio 2020)

#### RESUMEN

En la industria de la construcción, planificar y controlar el cronograma de obra son importantes, debido a que se cometen errores al realizar la programación inicial del proyecto, ya que durante la ejecución de la obra se generan retrasos entre actividades al usar métodos convencionales como CPM y PERT por una ineficiente gestión del tiempo. Este trabajo de investigación determina los beneficios en la gestión del tiempo al aplicar la programación por Líneas de Balance (LDB), en la construcción de muros anclados del tercer anillo de una edificación, dado que este método facilita la visualización de actividades en el cronograma, lo que ayuda a identificar los conflictos entre las tareas antes de que estos se realicen. Se analiza las velocidades y rendimientos, de datos obtenidos de los cronogramas real y meta llevados a cabo con el método de LDB, para analizar la diferencia de velocidades representándolo en porcentajes, donde se evalúa aquellos sectores y partidas que generan retrasos o adelantos en el cronograma. Con base en los resultados obtenidos, el método LDB mejora la gestión del tiempo en 3.57% con relación a las velocidades de avance, empleando mejoras en el ratio y mano de obra a través del control del cronograma por porcentajes de avance de las actividades relativo a lo planificado. Además, se implementa un diagrama de flujo para una mejor aplicación de las LDB, en el control del proceso de las actividades de muros anclados, esto a diferencia de otros estudios previos realizados.

**Palabras Clave:** Líneas, Balance, LDB, Cronograma, Tiempo, Planificar, Controlar.

#### ABSTRACT

In the construction industry, planning and controlling the construction schedule are important, because mistakes are made in the initial scheduling of the project, as during the execution of the work delays are generated between activities using conventional methods such as CPM and PERT by inefficient time management. In this research work, the benefits in time management were determined by applying the programming by Balance Lines (LOB), in the construction of anchored walls of the third ring of a building, given that this method facilitates the visualization of activities in the schedule, which helps to identify conflicts between tasks before they are performed. We analyzed the velocities and yields of data obtained from the real and target schedules carried out with the LOB method, to analyze the difference in velocities representing it in percentages, where we evaluated those sectors and activities that generate delays or advances in the schedule. Based on the results obtained, the LOB method improved time management by 3.57% in relation to velocities, employing improvements in the ratio and labor through the control of the schedule by percentages of progress of the activities relative to what was planned. In addition, a flow chart was implemented for a better application of the LOB, in the control of the process of the activities of anchored walls, this unlike previous studies.

**Keywords:** Line, Balancing, LOB, Schedule, Time, To Plane, Control.

#### 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en los problemas que existen en la mayoría de proyectos en la industria de la construcción, donde una incorrecta programación inicial es un problema serio, como el que ocurre durante la instalación de encofrados y colocación de aceros de los muros anclados en obras de edificios de viviendas y oficinas, ya que modifican el tiempo de entrega de los proyectos, generando retrasos y presentándose restricciones de diferentes tipos, lo que incrementa a su vez los costos y riesgos del proyecto. Por lo que, debe elaborarse un análisis adecuado del tiempo promedio de cada actividad para identificar las restricciones y reducir los errores durante la programación de la construcción del proyecto.

Por ello en la última década en el Perú, hubo un incremento en el número de investigaciones relacionadas con la aplicación del Método de LDB durante la programación de obra, que suele diferenciarse de los métodos que comúnmente se usan como son los métodos CPM, PERT y los diagramas de Gantt. Debido a que, con la aplicación del método de LDB se logra obtener una gran versatilidad a la hora de encontrar soluciones y además permite cumplir con

los objetivos de la programación maestra, al aprovechar junto a ella los principios del sistema Last Planner. Se estudió investigaciones similares que aplican la gestión del tiempo empleando el Método de la Línea Balance en distintos tipos de obras, las que se plasmaron en el marco teórico, logrando mejorar la visión técnica para realizar un mejor análisis de la programación de la edificación seleccionada.

En este sentido, la programación inicial aplicando el método de LDB, demostró que la gestión del tiempo en conjunto con las LDB, permitieron el análisis de los adelantos y atrasos de las partidas del proyecto, logrando identificar y observar las variaciones en porcentaje de la velocidad que se tuvo en cada actividad, con estos resultados se analizaron los rendimientos y ratios de mano de obra, permitiendo a su vez, hallar el costo que se genera por una mala o buena programación inicial.

Adicionalmente al aplicarse el diagrama de flujo elaborado para la obtención de las LDB, se mejoró la comprensión de los procesos que se requieren para implementar la técnica de programación de LDB. Además, se observó que las LDB permiten una mejor gestión del tiempo, ya que las bondades que ofrece son de fácil visualización por medio de las pendientes de cada actividad, conociendo así la velocidad con la que se ejecuta la actividad, obteniendo por consiguiente, el rendimiento, ratio y costo de la mano de obra.

De manera similar al trabajo realizado por Izquierdo [1], en el presente estudio se empleó el método de LDB como una herramienta que ayudó a mejorar el control y planificación de proyectos, con el fin de minimizar sobretiempos y sobrecostos en la ejecución de proyectos de construcción. Además, se tuvo en cuenta sobre los proyectos en el Perú, éstos se ejecutan cumpliendo el cronograma y presupuesto planificado, por lo que es de suma importancia realizar una buena planificación de los proyectos antes del inicio de la ejecución para así evitar retrabajos y ejecución de actividades no identificadas.

Se tomó en cuenta los hallazgos del trabajo de investigación elaborado por Calampa [2], quien menciona que las LDB se diferencia de las técnicas de programación usados en el Perú como son el CPM y los diagramas de Gantt, que no consideran la ubicación en la programación y no se observa la relación de las actividades conectadas a otras. En cambio, se enfocaron en optimizar la visualización de la productividad de una manera más sencilla y orientada a lo real, empleando el método de la Línea de Balance en proyectos reales.

El presente estudio consta de un marco teórico de temas relacionados a la aplicación de Líneas de Balance. En la siguiente sección, se evaluó el método de solución empleado para el desarrollo del planteamiento del problema. Asimismo, se realizó el análisis de los resultados y discusión. Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas.

## 2. MARCO TEÓRICO

Se aplicó el concepto de gestión del cronograma, dado que el trabajo de investigación se basó en emplear el método de LDB, como un método de planificación y control de proyectos. Su aplicación, se dio en la etapa de construcción de muros anclados del tercer anillo de una edificación, permitiendo controlar los atrasos y adelantos que se llevan tanto en el cronograma planificado como el real.

Al comparar otros métodos de programación en obra con LDB, se puede encontrar diversas diferencias entre estos métodos, como es el caso del Diagrama de Gantt, que se basa en una gráfica que indica un periodo de duración de cada actividad o tarea del proyecto a ejecutar, pero no indica la relación que existe entre una y otra actividad y la localización de cada tarea [3]. A diferencia de LDB que si ofrece estos beneficios [4].

Por otra parte, al realizar la programación con el método CPM, se planifican actividades con una gran cantidad de tareas a detalle y según va iniciando la obra. Sin embargo, este procedimiento queda desactualizado por el exceso de detalle en las tareas, y por consecuencia se necesita realizar reprocesos y actualizaciones a la programación, en comparación a LDB, que permite agrupar las actividades en una sola línea, y por lo tanto se tiene un documento más sencillo al momento de monitorear la ejecución del proyecto y gracias a la fácil visualización de las líneas, ayuda a identificar el ritmo de cada actividad del proyecto. Por lo tanto, se puede predecir problemas en la obra y así evitar reprocesos [5].

### 2.1. Gestión del cronograma

Derivado de la Guía de Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), controlar la gestión del cronograma tiene una mayor importancia en el método de LDB, puesto que, la estimación de la duración de cada actividad para la elaboración del cronograma base, se desarrolla en suposiciones u estimaciones de proyectos anteriores, de modo que la mejor manera de controlar el proyecto, es recopilar información en tiempo real, para reaccionar ante cualquier situación de disminución de la productividad o velocidad. El control con el método de LDB incluye el monitoreo del estado de las localizaciones y la mano de obra en el sitio para calcular la productividad real, visualizando

el estado en los gráficos de control y las líneas de flujo, pronosticando el progreso basado en las tasas reales de producción y dando alarmas para advertir de problemas futuros y permitir un control proactivo [6].

## 2.2. Definición de control del cronograma

Controlar el Cronograma, es el proceso de monitorear el estado del proyecto para actualizar el cronograma del proyecto y gestionar cambios a la línea base del cronograma. El beneficio clave de este proceso es que la línea base del cronograma es mantenida a lo largo del proyecto. Este proceso se lleva a cabo a lo largo de todo el proyecto [7].

## 2.3. Controlar el cronograma: Adelantos y retrasos

El ajuste de adelantos y retrasos se utiliza durante el análisis de los gráficos obtenidos al emplear las LDB, para encontrar maneras de alinear con el plan maestro, las actividades retrasadas del proyecto [7]. Por ejemplo, en el caso estudiado en el proyecto de construcción, se llevaron a cabo las partidas de muros anclados, donde una de las actividades es la excavación a metro y medio, se puede planificar y emplear dos excavadoras en la actividad, de manera que la excavación del paño siguiente inicie antes, logrando un adelanto en esa partida, aumentando la velocidad en que se realizan los paños.

## 2.4. Estructura de desglose de trabajo

Derivado de PMBOK, la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), es el fraccionamiento de las partidas a un primer y segundo nivel de importancia para tener un mejor control de supervisión, programación y costo. La EDT constituye la principal entrada para la definición de las actividades y se desarrolla en forma secuencial con la lista de tareas, como se visualiza en la Figura 1 [1].

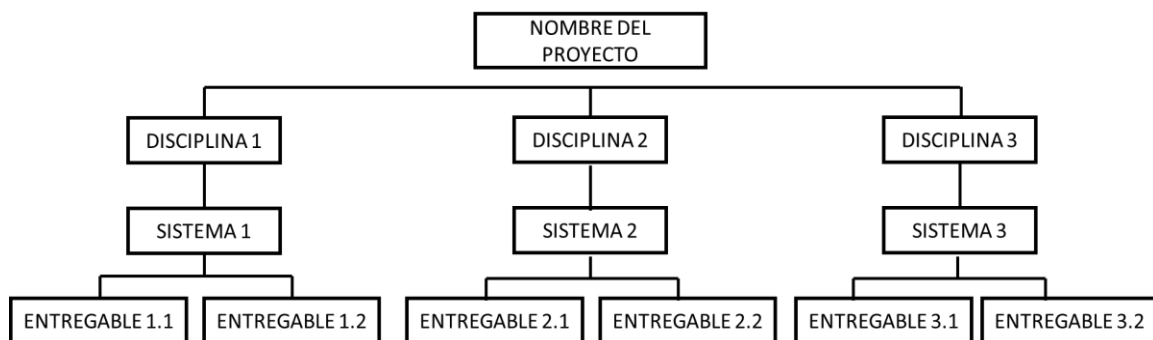


Figura 1: Formato de estructura de desglose de trabajo.

### ▪ Pautas para desarrollar una EDT:

Según la Norma de prácticas para las estructuras de desglose del trabajo (Practice Standard for Work Breakdown Structures), los pasos para elaborar una Estructura de Desglose de Trabajo son:

**Paso 1:** identificar y analizar los entregables del proyecto, así como una revisión de los requerimientos de las tareas relacionadas.

**Paso 2:** estructurar y realizar la organización de la EDT, por paquetes de trabajo.

**Paso 3:** se debe descomponer los entregables principales de la EDT a un nivel de detalle inferior, que permita gestionar con eficacia y eficiencia.

**Paso 4:** realizar y asignar códigos de identificación a cada uno de los componentes de la EDT.

**Paso 5:** realizar una revisión para verificar que el grado de descomposición de las tareas sea el adecuado y necesario.

## 2.5 La Estructura Fraccionada de Localización

La estructura fraccionada de localización es una herramienta que ayuda a definir la distribución de los sectores de trabajo donde se logre el mayor rendimiento, seguridad y satisfacción de las cuadrillas de trabajadores que se encargaran de realizar las actividades, asegurando la repetitividad de éstas.

Una vez que se ha logrado desarrollar y definir los planos del proyecto de una edificación, se deberá ejecutar la estructura fraccionada de localización, por sus siglas en inglés LBS (Location Breakdown Structure). Para lograr una mejor distribución, se deberá apoyar, en aquello que la ingeniería industrial designa “Distribución de Planta”, en la cual la más importante en la industria de la construcción es la distribución por posición fija, visto que se debe trasladar los materiales, equipos, obreros y herramientas, a cada uno de los sectores de trabajo. Por lo que, para realizar la Estructura Fraccionada de Localización son aplicables los 6 principios básicos [8].

- Seis principios Básicos de Orihuela-Estebes:

En el artículo [8], para realizar la LBS se debe aplicar los principios básicos, que se presentan a continuación:

*Principio de la satisfacción y seguridad:* optimiza el costo y tiempo, dado que, si se minimiza el esfuerzo para realizar una tarea, se genera una mayor producción por jornada.

*Principio de la integración de conjunto:* consiste en la integración de recursos humanos, maquinarias, materiales y otros factores, para una mejor distribución.

*Principio de la mínima distancia recorrida:* consiste en, la distancia que se recorre entre áreas de trabajo sea la más corta, para una mejor condición de trabajo.

*Principio de la circulación:* consiste en ordenar las áreas de trabajo, de tal forma que cada proceso u operación este en la misma secuencia u orden, en la cual se transformen o monten los materiales.

*Principio del espacio cubico:* consiste en la utilización del área completa, como cada espacio genera un costo, por consiguiente, cada área se debe aprovechar en su totalidad, de forma horizontal y vertical.

*Principio de la flexibilidad:* Según este principio la distribución debe ser efectiva de tal modo que pueda ser ajustada o reordenada con menos costos o inconvenientes.

## 2.6 Lean Construction

La filosofía de construcción sin pérdidas, por sus siglas en inglés (Lean Construction), es un enfoque orientado a la gestión de proyectos de construcción. Su empleo en la administración de un proyecto de construcción tiene la visión principal de optimizar todos los procesos constructivos y maximizar el uso de los recursos, con la finalidad de añadirle valor al cliente considerando un mejor costo, calidad, seguridad y tiempo de entrega [9]. En este sentido la filosofía Lean, se complementa con el método de LDB, debido a que con las LDB se ayuda a maximizar el uso de los recursos y mejorar el tiempo de entrega. Por ejemplo, solo con analizar la pendiente de una partida de la LDB, se puede identificar si está atrasada o adelantada, lo que ayuda a identificar en que actividad se están generando retrasos, ayudando a su vez a optimizar las cuadrillas de las actividades para cumplir con los plazos de entrega.

Adicionalmente, Orihuela y Estebes [8], mencionan sobre la programación maestra al detalle, que se realiza en métodos como el CPM y PERT, genera reprocesos, forzando a generar un stock en los almacenes, debido a que se retrasan actividades interrumpiendo los flujos del proyecto, cosa que no sucede al emplear la metodología de LDB [8].

## 2.7 Lean Construction - Sectorización

La sectorización es una herramienta de la filosofía de construcción sin pérdidas, que consiste en seccionar una actividad de un proyecto por ambientes, áreas o especialidades, logrando que estas secciones sean lo más equitativas posibles, cada sección debe comprender un metrado aproximadamente igual, la cantidad de tarea por cada sección debe poder ser realizada en un día. Es una herramienta que se utiliza previo a usar los trenes de trabajo, que se emplea para la elaboración del cronograma en el proyecto [10]. Por ejemplo, se observa en la Figura 2, la sectorización de un edificio multifamiliar que fue seccionado en 10 áreas de similar metrado, para ayudar a que la carga de trabajo de cada sector pueda ejecutarse en un día, de las diferentes actividades a realizarse con la misma cantidad de recursos.

## 2.8 Lean Construction – Tren de actividades

El tren de actividades es una herramienta que se emplea para secuenciar las actividades de la partida que se analiza asegurando que todos los días se logre la meta establecida en el cronograma planificado.

El tren de actividades es otra herramienta de la filosofía Lean Construction que se complementa con la sectorización, en donde se establece una secuencia de partidas las cuales van conectadas (como vagones) entre sí [10]. Una de las características del tren de actividades es que cada actividad se considera una estación de trabajo, donde todos los procesos son cuellos de botella. Por lo tanto, todos los días se tiene el mismo avance, y la cantidad de recursos es constante, cada cuadrilla produce lo mismo. Por ejemplo, en la Figura 3, se observa un tren de actividades recortado de

la partida de muros pantalla de un edificio con dos sótanos y ocho pisos, solo de ocho días de avance. Los sectores de trabajo se describen como 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, 1G y 1H.

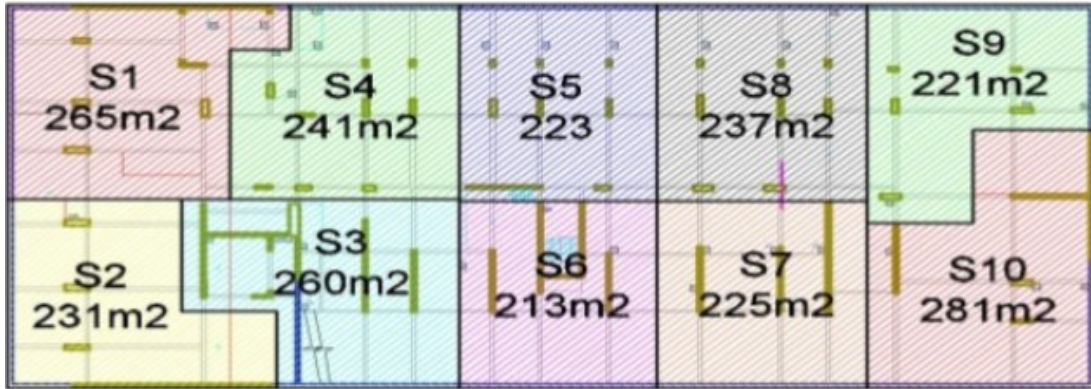


Figura 2: Sectorización de sótanos de un edificio multifamiliar de 17 niveles con 4 sótanos [6].

Actividades	Días							
	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

Figura 3: Tren de actividades en muro pantalla [10].

### 2.9 Cálculo de rendimiento, ratio y velocidad

**Ratio:** Es la cantidad de horas hombre (HH), que se genera para la producción en campo de unidad de metrado, para determinar la productividad de la cuadrilla. Permitirá determinar la cantidad de horas hombre empleadas por la cuadrilla para el desarrollo de cada actividad de la partida.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Cuadrilla} \times \text{Jornada}}{\text{Rendimiento}} \quad (1)$$

**Velocidad:** se entiende como ritmo y se visualiza como la pendiente de cada línea en la gráfica de LDB, la cual es elaborada en un formato Excel.

En el presente estudio, se plantea la expresión de la velocidad del desarrollo de las actividades, relacionando el N° de paños con respecto al tiempo.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Paños}}{\text{Tiempo}} \quad (2)$$

**Rendimiento:** Es la cantidad de trabajo que se produce en un determinado tiempo, en la cual se determinará la velocidad de producción, ayudará a calcular el rendimiento con el cual se está realizando la partida.

$$\text{Rendimiento} = \text{Velocidad} \times \text{Metrado} \quad (3)$$

2.10 Diagrama de flujo

Antes de implementar la metodología, se elaboró un diagrama de flujo como se muestra en la Figura 4, para mejorar y optimizar el tiempo de programación del cronograma.

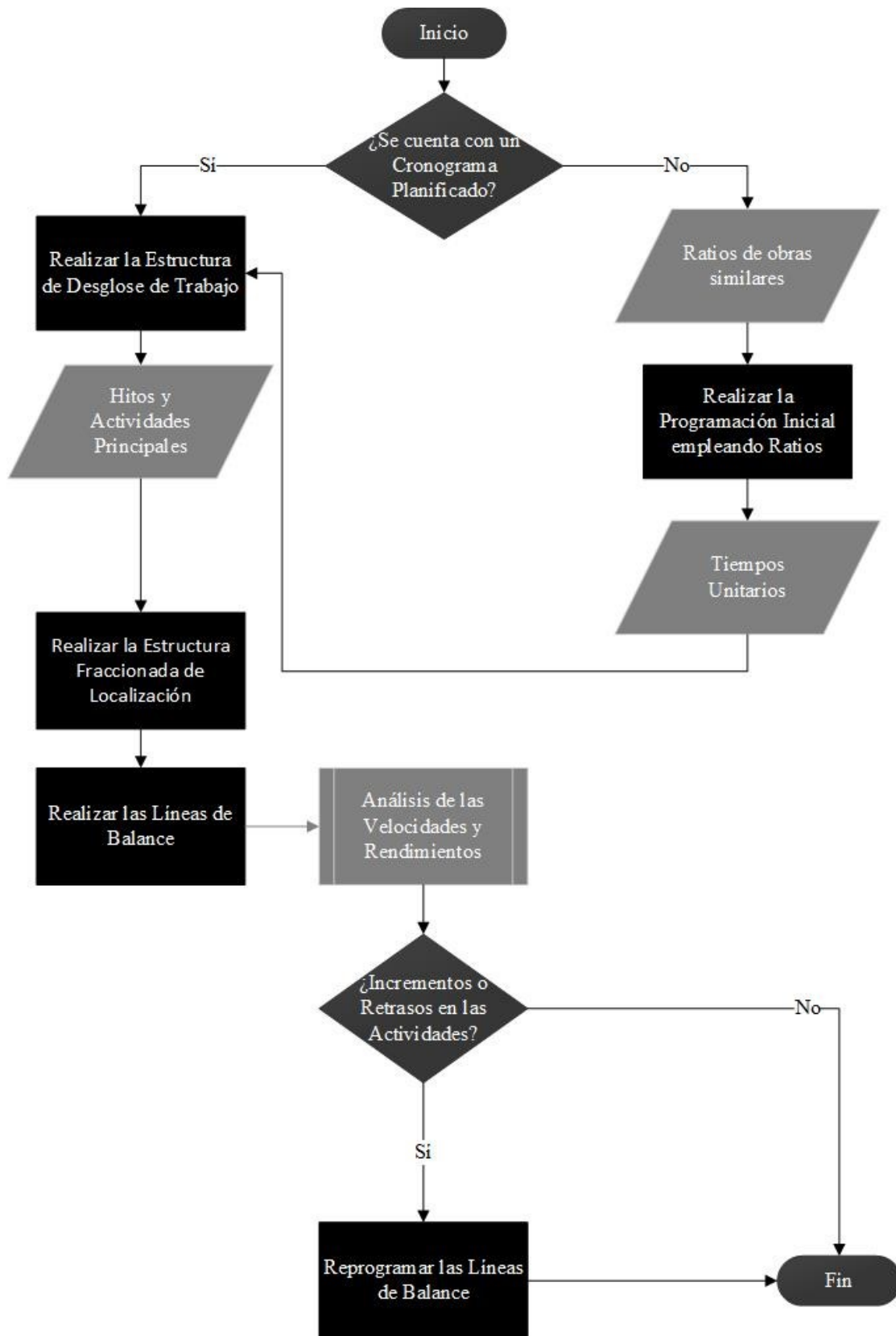


Figura 4: Diagrama de Flujo implementado en LDB.

En el diagrama se elige una etapa a través de una variable de decisión, esto depende si el proyecto cuenta con un cronograma planificado. El proyecto en estudio dispone de un cronograma planificado, por lo que se realizó la Estructura de Desglose de trabajo obteniendo los hitos y actividades principales, luego de ello se realizó la Estructura Fraccionada de Localización. Por último, se obtuvo las LDB, donde se analizaron las variables de velocidad y rendimiento de las cuadrillas, respecto a las actividades que se venían ejecutando.

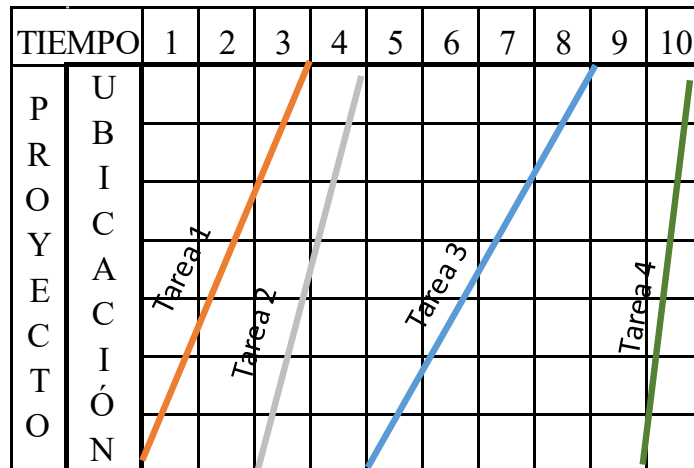
Es necesario aclarar, si el proyecto no cuenta con un cronograma planificado, se realiza la programación inicial empleando ratios de tiempo de realización de las actividades de otros proyectos similares, donde se obtiene los tiempos unitarios de cada actividad, luego de ello se realiza la misma secuencia de procesos a partir de la Estructura de Desglose de Trabajo. Posteriormente, se realiza el análisis de velocidades y rendimientos, y si existieran adelantos o retrasos en las actividades se elabora un nuevo LDB a partir de la reprogramación del cronograma.

Para implementar la técnica de programación de líneas de balance, habiendo desarrollado la EDT donde se obtiene hitos y actividades principales, estos hitos se pueden utilizar para indicar las interfaces de las actividades con trabajo fuera de proyecto, luego se elabora la Estructura Fraccionaria de localización y se obtiene la distribución en planta de la edificación. A partir del control de avance, rendimiento y localización, se analizan las variables obtenidas para comprender y visualizar las soluciones para el replanteo del cronograma [1]. Estas variables se miden con ratios de mano de obra, es decir el tiempo que se demora la cuadrilla en ejecutar el muro anclado.

**2.11 Líneas de balance LDB**

El método de la LDB fue empleado en el presente estudio, como una herramienta adecuada para la programación de actividades, la cual se puede visualizar en una sola línea o barra en la gráfica, además la programación se realizó de una manera global para las actividades que se ejecutaron en el proyecto y facilitar su visualización en el cronograma. El método de la LDB ayudó a planificar los plazos de cronograma, fechas de hitos, rutas críticas, realizar reprogramaciones de las tareas y tener un control del proyecto, para eliminar o reducir las tareas que generen excesos en tiempo y costo, esto se realizó de forma similar al estudio desarrollado por Botero [1].

La Figura 5 es un ejemplo de la aplicación de la técnica de programación de LDB en un proyecto de edificación, en la figura se puede visualizar el tiempo que dura cada tarea y su ubicación. Como se puede observar la tarea 4, es de menor duración por tener una mayor pendiente, lo que indica que la velocidad de la tarea es mayor a diferencia de otras. Sin embargo, se puede observar en la tarea 3, ocurre lo contrario, debido a una menor pendiente y velocidad. Por lo tanto, una mayor pendiente refleja una mayor velocidad y una mejora en el rendimiento de la actividad.



**Figura 5:** Tareas en la técnica de programación LDB.

La Figura 6 muestra el cronograma real y meta del Proyecto “Tomas Valle Edificio 2 y 4”, a través de la técnica de programación LDB, se puede apreciar que la actividad enchape de baño y cocina, tomó más tiempo de lo programado, tal como refleja en la pendiente de la línea meta vs la real de dicha actividad, por lo tanto, esta técnica tiene como beneficio, identificar fácilmente en el grafico la velocidad de la actividad programada vs la actividad real [2].

La Figura 7 indica el cronograma meta y real del proyecto “Canta Callao Edificio C y D”, mediante la técnica de programación LDB, en la cual gracias a esta técnica se puede visualizar fácilmente, que la duración de la actividad pórticos duro más de lo programado, tal como se puede observar en la línea meta y real de dicha actividad [2].

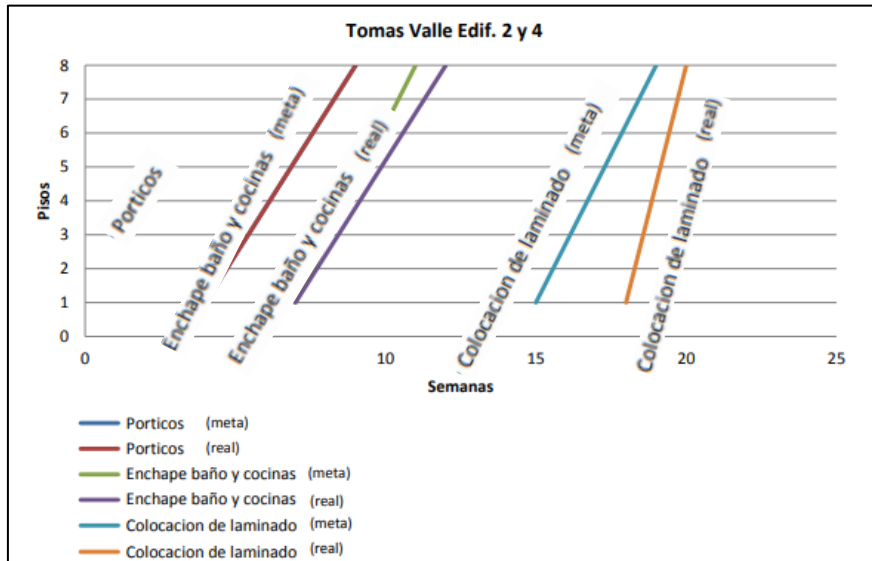


Figura 6: LDB del proyecto Tomas Valle Edif. 2 y4 [2].

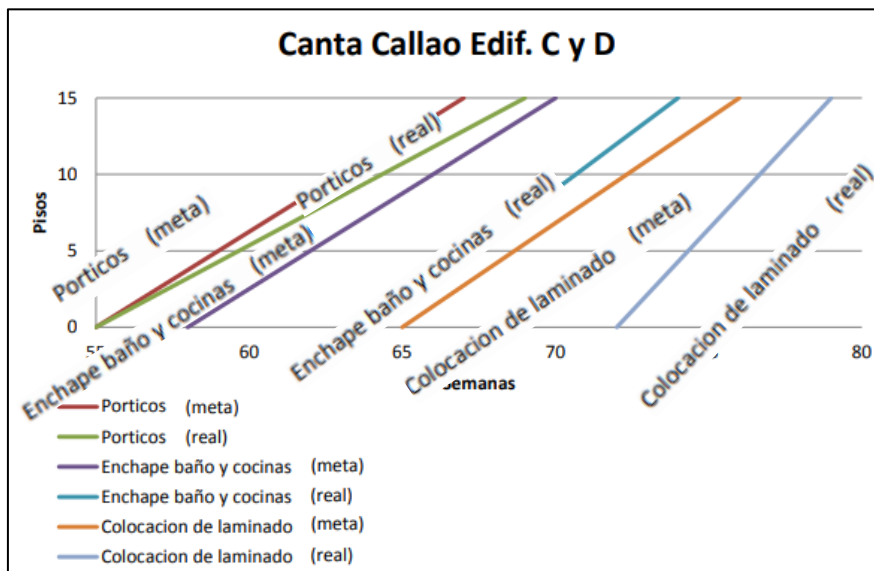


Figura 7: LDB del proyecto “Canta Callao Edificio C y D” [2].

### 3. MÉTODO DE SOLUCIÓN

Partiendo del enunciado de la presente investigación, se plantearon preguntas de investigación en el sentido de conocer cómo influye el método de las líneas de balance en la gestión del tiempo, control del avance, control del rendimiento y en el control por localización en un proyecto de edificación. Para responder a esas preguntas, se planteó como objetivo determinar los beneficios que se obtiene aplicando el método de LDB en la gestión del tiempo, control de rendimiento y control por localización en un proyecto de edificación. Posteriormente, se abordó una hipótesis general sobre si el método de la LDB mejora la gestión del tiempo en la programación maestra de una edificación. Adicionalmente se plantearon tres hipótesis específicas sobre si la aplicación del método de la LDB en la programación de una edificación mejora el control del avance, el control del rendimiento y el control por localización.

El tipo de investigación que se empleó fue de tipo experimental, debido a que se realizó una intervención directa en la construcción de la Edificación, pues se analizó la programación de esta. Además, es cuantitativo, porque se empleó la estadística descriptiva debiendo reunir, clasificar y examinar datos de ratios, tiempos unitarios, entre otros, para la obtención de resultados. También es retrospectivo, debido a que los datos obtenidos para la investigación fueron datos secundarios, ya que se obtuvo a partir de la programación de tareas de la construcción de la edificación. Adicionalmente es transversal porque se realizó solo una medición, para obtener una óptima gestión en el tiempo aplicando el método de la LDB. Finalmente es descriptivo debido a que solo se contó con una variable de investigación.



Para realizar la evaluación de la unidad de estudio se planteó una población que corresponde a las partidas de la construcción de una edificación, y se analizó una muestra de las partidas de la construcción de muros anclados del tercer anillo de una edificación debido a las limitaciones y el alcance que se tuvo dentro del proyecto. La variable de calibración es el Método de las Líneas de Balance y la variable evaluativa es la programación de la construcción de una edificación. Además, los indicadores que se tomaron en cuenta son: Velocidad, definido como espacio entre tiempo. En el caso de las LDB, se entiende a la velocidad como ritmo y se visualiza como la pendiente de cada línea. El periodo del tiempo depende de cada planificador, puede ser días o semanas [2]. Adicionalmente, se empleó el rendimiento ya que, a partir de la velocidad, y según el metrado por cada paño, se pudo hallar el rendimiento [2].

Los instrumentos y/o formatos para realizar la medición fueron de elaboración propia, estos instrumentos se realizaron de acuerdo con los indicadores. Para realizar la medición de la velocidad se visualizó la pendiente de cada línea en la gráfica de LDB, elaborado en una hoja de cálculo en MS Excel. Para calcular el rendimiento se desarrollaron también hojas de cálculo propias en MS Excel. Esta información, ayudó a analizar los resultados obtenidos después de la implementación de los instrumentos de información para contrastar la hipótesis [1].

#### 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Planificación

Para implementar la técnica de programación de líneas de balance, se desarrolló la EDT, donde se obtuvo hitos y actividades principales, estos hitos se utilizaron para indicar las interfaces de las actividades con trabajo fuera del proyecto, luego se elaboró la Estructura Fraccionaria de localización y se obtuvo la distribución en planta de la edificación. A partir del control de avance, rendimiento y localización, luego se analizaron las variables obtenidas para comprender y visualizar las soluciones para el replanteo del cronograma [1]. Estas variables se midieron con ratios de mano de obra, es decir el tiempo que se demoró la cuadrilla en ejecutar el muro anclado.

##### 4.2. Recolección

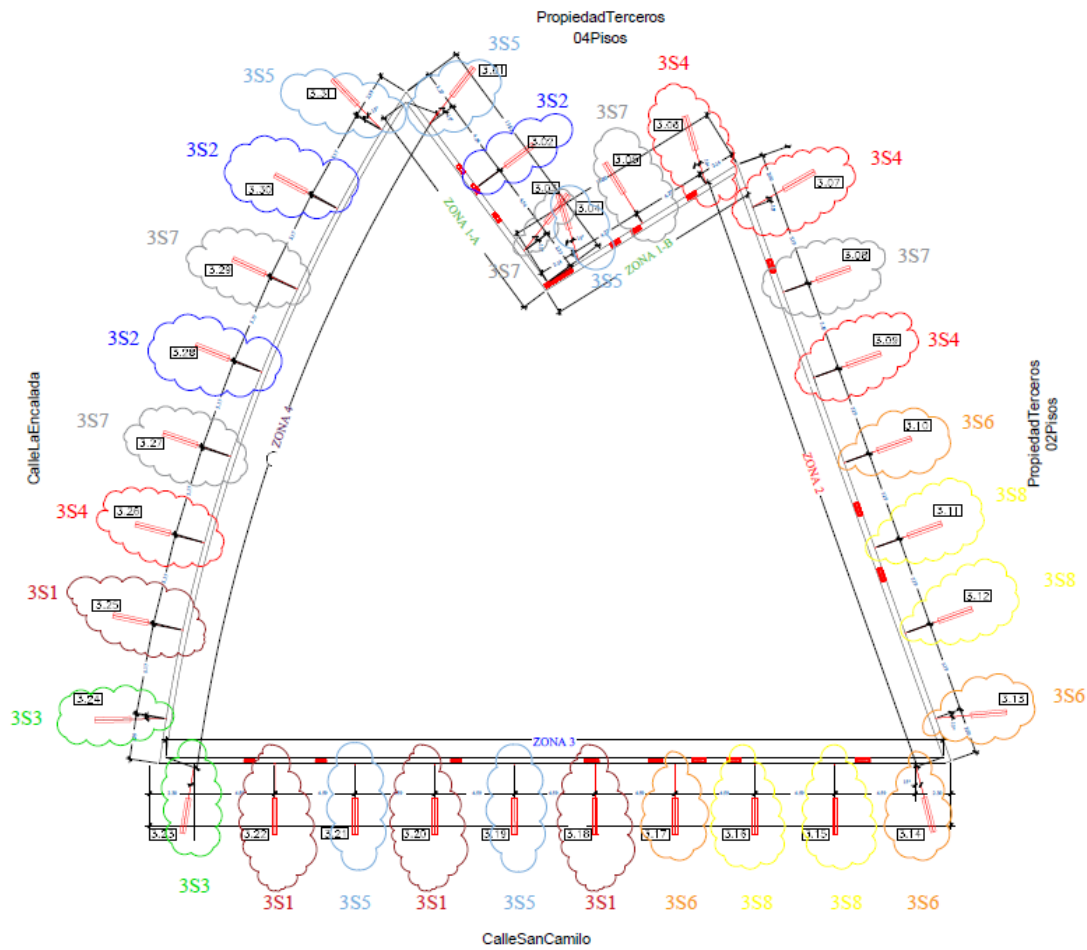
Como primer punto a llevar a cabo para el análisis de las velocidades y rendimientos se identificó el cronograma planificado antes de empezar con las actividades que se realiza en obra, estos datos fueron proporcionados por la empresa constructora en un formato de tren de actividades de la partida muros anclados. Se muestra en la TABLA 1.

**TABLA 1 - TREN DE ACTIVIDADES DE MUROS ANCLADOS DEL PROYECTO ANALIZADO**

Partidas	29/08/2019	30/08/2019	31/08/2019	01/09/2019	02/09/2019	03/09/2019	04/09/2019	05/09/2019	06/09/2019	07/09/2019	08/09/2019	09/09/2019	10/09/2019	11/09/2019	12/09/2019	13/09/2019	14/09/2019	15/09/2019
	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
<b>MURO ANCLADO</b>																		
Excavación del Paño	3S1				3S2	3S3	3S4	3S5	3S6			3S7	3S8					
Perfilado y Pañeteo	3S1				3S2	3S3	3S4	3S5	3S6			3S7	3S8					
Acero e instalaciones	3S1				3S2	3S3	3S4	3S5	3S6			3S7	3S8					
Encofrado					3S1	3S2	3S3	3S4	3S5			3S6	3S7	3S8				
Vaciado					3S1	3S2	3S3	3S4	3S5			3S6	3S7	3S8				
Desencofrado						3S1	3S2	3S3	3S4			3S5	3S6	3S7	3S8			
Tensado							3S1	3S2	3S3			3S4	3S5	3S6	3S7	3S8		

Fuente: Elaboración empresa constructora.

Luego, se obtuvo la sectorización con la que se realizó el tren de actividades del cronograma planificado. La sectorización mejoró la toma de datos porque se entiende mucho mejor la manera como está distribuido el tiempo y cuadrillas de las actividades de acuerdo con cada sector de los muros anclados en el tercer anillo, Figura 8.



**Figura 8:** Sectorización Tercer anillo.

Fuente: Elaboración empresa constructora

En la Figura 9, se puede apreciar la ejecución en paralelo las actividades de perfilado y acero del tercer anillo de muros anclados, que se desarrolló de acuerdo con la sectorización.



**Figura 9:** Partidas en ejecución del tercer anillo de muros anclados.

Finalmente, se obtuvo los datos de los avances reales de cada una de las partidas que comprende el tercer anillo de los muros anclados. Estos datos se recolectaron mediante las visitas realizadas a obra, como se visualiza en la

TABLA 2. Partidas en ejecución del tercer anillo de muros anclados.

TABLA 2 - TIEMPO Y CUADRILLA DE CADA ACTIVIDAD POR PAÑO

Fecha	Partida	Tiempo Promedio de cada partida por paño (min)	Cuadrilla	
			Operario	Peón
29/08/2019	Excavación	30	1	1
29/08/2019	Perfilado y pañeteo	60	1	5
29/08/2019	Acero	150	2	3
29/08/2019	Encofrado	120	2	4
02/09/2019	Excavación	30	1	1
02/09/2019	Perfilado y pañeteo	60	1	5
02/09/2019	Acero	150	2	3
02/09/2019	Encofrado	120	2	4
02/09/2019	Vaciado	25	1	3
03/09/2019	Excavación	30	1	1
03/09/2019	Perfilado y pañeteo	60	1	5
03/09/2019	Acero	160	2	3
03/09/2019	Encofrado	150	2	4
03/09/2019	Vaciado	30	1	3
03/09/2019	Desencofrado	45	2	2
04/09/2019	Excavación	30 - 45	1	1
04/09/2019	Perfilado y pañeteo	60 - 90	1	5
04/09/2019	Acero	180	2	3
04/09/2019	Encofrado	120	2	4
04/09/2019	Vaciado	30	1	3
04/09/2019	Desencofrado	45	2	2
04/09/2019	Tensando	30	2	1
05/09/2019	Excavación	30	1	1
05/09/2019	Perfilado y pañeteo	60	1	5
05/09/2019	Acero	180	2	3
05/09/2019	Encofrado	120	2	4
05/09/2019	Vaciado	30	1	3
05/09/2019	Desencofrado	45	2	2
05/09/2019	Tensando	30	2	1
06/09/2019	Excavación	30	1	1
06/09/2019	Perfilado y pañeteo	60	1	5
06/09/2019	Acero	160	2	3
06/09/2019	Encofrado	140	2	4

PAREDES, TORRES, GÓMEZ

06/09/2019	Vaciado	25	1	3
06/09/2019	Desencofrado	30	2	2
06/09/2019	Tensando	30	2	1
07/09/2019	Excavación	30	1	1
07/09/2019	Perfilado y pañeteo	60	1	5
07/09/2019	Acero	170	2	3
07/09/2019	Encofrado	150	2	4
07/09/2019	Vaciado	30	1	3
07/09/2019	Desencofrado	30	2	2
07/09/2019	Tensando	30	2	1
09/09/2019	Acero	150	2	3
09/09/2019	Encofrado	120	2	4
09/09/2019	Vaciado	30	1	3
09/09/2019	Desencofrado	30	2	2
09/09/2019	Tensando	30	2	1
14/09/2019	Acero	160	2	3
14/09/2019	Encofrado	130	2	4
14/09/2019	Vaciado	25	1	3
14/09/2019	Desencofrado	30	2	2
14/09/2019	Tensando	30	2	1
16/09/2019	Encofrado	130	2	4
16/09/2019	Vaciado	30	1	3
16/09/2019	Desencofrado	30	2	2
16/09/2019	Tensando	30	2	1
17/09/2019	Desencofrado	30	2	2
17/09/2019	Tensando	30	2	1
18/09/2019	Tensando	30	2	1

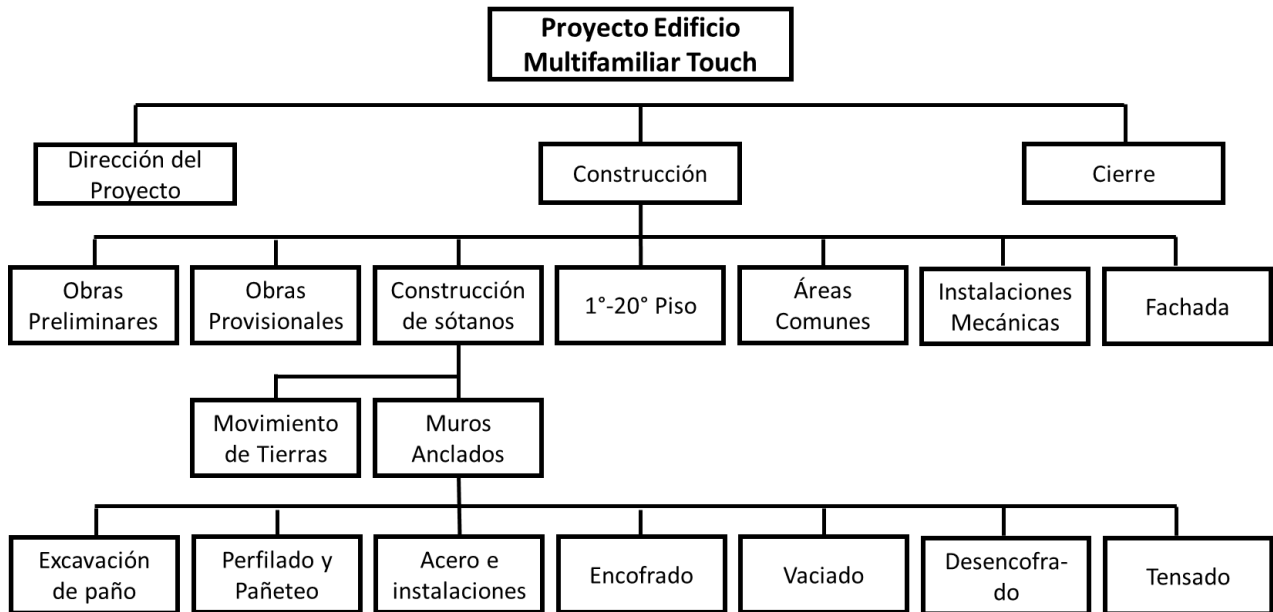
### 4.3 Procesamiento

Se realizó la estructura de desglose de trabajo, que brinda un mejor concepto sobre el alcance del proyecto en referencia a la construcción de sótanos, como se observa en la Figura 10. Como resultado, se obtiene un mayor detalle de las actividades que se encuentran dentro de la partida de muros anclados; además, con ello se definieron los hitos más importantes como el de inicio y fin de la actividad.

Luego, se realizó la estructura fraccionada de localización con la información del alcance que se obtuvo de la EDT, y además tomando en cuenta la sectorización con la que se llevó a cabo el tercer anillo. En la Figura 11, se observa que el trabajo organizado por número de paños, es la actividad que agrupa todas las partidas de los muros anclados en el tercer anillo, lo que asegura su repetitividad, por lo que con ello se realizó la estructura fraccionada de localización.

Posteriormente, luego de la toma de datos en campo, se realizó la conversión al método de líneas de balance del cronograma planificado del anillo 03 del proyecto, con esta información se hallaron las velocidades de las actividades

que forman parte de la partida muros anclados, como se observa en la Figura 12. También se observan las pendientes de cada actividad de la partida muros anclados que definen su velocidad de avance.



**Figura 10:** EDT del proyecto Touch.

Sector		Paños
<b>Tercer Anillo</b>	<b>3S8</b>	31
		30
		29
		28
	<b>3S7</b>	27
		26
		25
		24
		23
	<b>3S6</b>	22
		21
		20
	<b>3S5</b>	19
		18
		17
		16
		15
	<b>3S4</b>	14
		13
		12
	<b>3S3</b>	11
		10
	<b>3S2.</b>	9
		8
	<b>3S1</b>	7
		6
		5
		4
		3
		2
		1

**Figura 11:** Estructura fraccionada de localización del Tercer anillo.

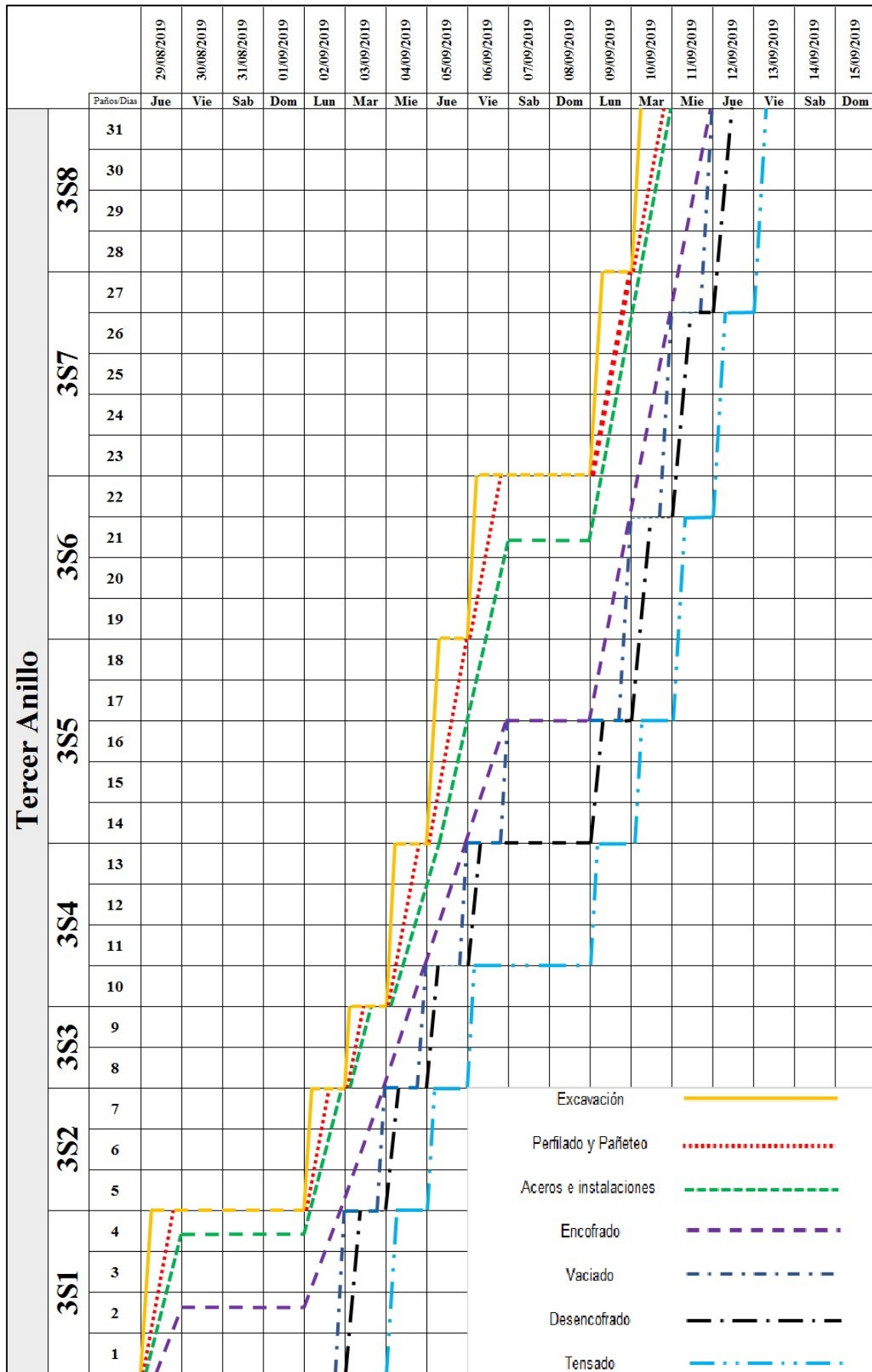


Figura 12: Programación Planificada con LDB.

Fuente: Elaboración propia

A partir de la programación planificada con LDB, se obtuvieron las velocidades de cada partida, así como se muestra en la TABLA 3, que más adelante servirá para analizar la disminución o incremento de las velocidades.

**TABLA 3 - VELOCIDADES DEL CRONOGRAMA PLANIFICADO DE CADA ACTIVIDAD POR SECTOR**

Cronograma	Meta							
Sectores	3S1	3S2	3S3	3S4	3S5	3S6	3S7	3S8
Nro de Paños	4	3	2	4	5	4	5	4
Unidad	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora
Excavación	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Perfilado y Pañeteo	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Aceros e instalaciones	0.50	0.50	0.50	0.47	0.67	0.67	0.67	0.67
Encofrado	0.33	0.40	0.40	0.40	0.45	0.67	0.67	0.67
Vaciado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Desencofrado	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
Tensado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Además, se elaboró el cronograma real del tercer anillo de muros anclados, con la técnica de programación LDB a partir de los datos obtenidos en campo que se encuentran en la

TABLA 2, como se puede visualizar en la Figura 13.

A partir de la programación real con LDB, se obtuvo las velocidades de cada partida, así como se muestra en la TABLA 4, que posteriormente ayudó a realizar la diferencia de velocidades entre el cronograma planificado y real.

**TABLA 4 - VELOCIDADES DEL CRONOGRAMA REAL DE CADA ACTIVIDAD POR SECTOR**

Cronograma	Real							
Sectores	3S1	3S2	3S3	3S4	3S5	3S6	3S7	3S8
Nro de Paños	4	3	2	4	5	4	5	4
Unidad	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora	Paños/ Hora
Excavación	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Perfilado y Pañeteo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00
Aceros e instalaciones	0.40	0.40	0.44	0.44	0.44	0.40	0.67	0.67
Encofrado	0.40	0.40	0.36	0.40	0.40	0.40	0.80	0.67
Vaciado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Desencofrado	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
Tensado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00



PROGRAMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TERCER ANILLO DE MUROS ANCLADOS DE UNA...

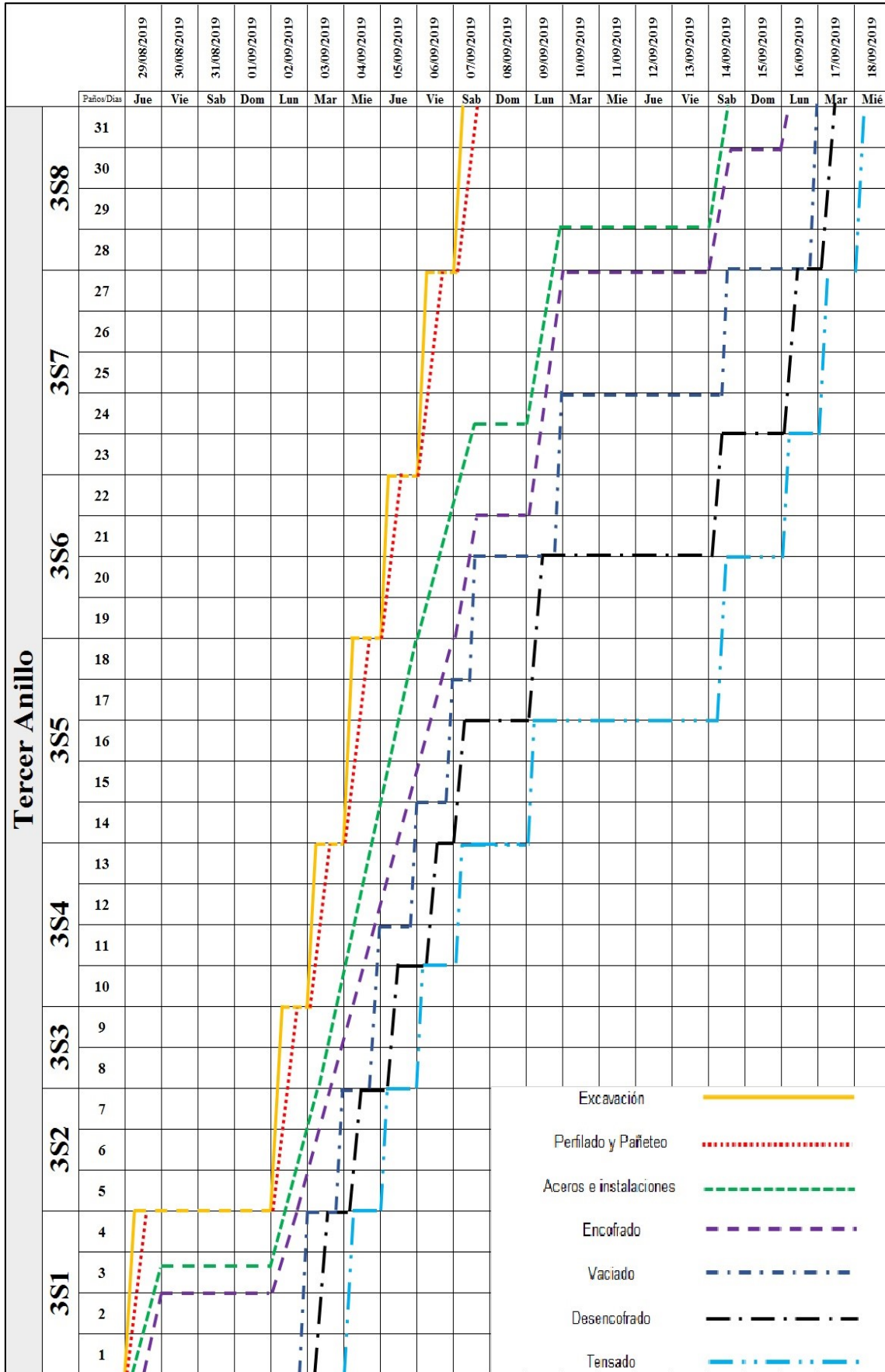


Figura 13: Programación Real con LDB.

4.4 Análisis

A partir de la TABLA 3 y

TABLA 4, se determina la diferencia de velocidades representado en porcentaje del cronograma planificado y real, donde un valor positivo (+) significa adelanto en una actividad y el valor negativo (-) representa retrasos en una actividad.

En la TABLA 5 se observa en la actividad perfilado y pañeteo, se lleva a cabo un adelanto de la velocidad en un 50% del avance real, debido al incremento del rendimiento de la cuadrilla. En contraparte, en la actividad aceros e instalaciones se redujo la velocidad en 20% debido a que en los sectores 3S1, 3S2, 3S3, 3S4, 3S5 y 3S6, dentro de los muros anclados se encuentran columnas, lo que dificulta la colocación de los aceros, por ello la reducción de la velocidad. De igual manera en la actividad de encofrados se observa que existe una reducción ya que los sectores de 3S3, 3S4, 3S5 y 3S6 se encuentran en las esquinas lo que dificulta la actividad de encofrado. Por último, se observó que en las otras actividades no hubo una variación, por lo que se mantuvo la misma velocidad que el cronograma meta. Existe una mejora en las velocidades en la mayoría de las actividades, debido a la facilidad de visualización del control del cronograma al implementar la técnica de programación LDB.

TABLA 5 - DIFERENCIA DE VELOCIDADES META ENTRE REAL REPRESENTADO EN PORCENTAJE

Sectores	3S1	3S2	3S3	3S4	3S5	3S6	3S7	3S8
Nro. de Paños	4	3	2	4	5	4	5	4
Unidad	Paños / Hora	Paños / Hora	Paños / Hora	Paños / Hora	Paños / Hora	Paños / Hora	Paños / Hora	Paños / Hora
Excavación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perfilado y Pañeteo	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	50.00	50.00
Aceros e instalaciones	-20.00	-20.00	-11.11	-4.44%	-33.33	-40.00	0.00	0.00
Encofrado	20.00	0.00	-9.09	0.00	-12.00	-40.00	20.00	0.00
Vaciado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desencofrado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tensado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En la Figura 14 se puede observar el incremento del avance entre el cronograma real y planificado, en esta figura cada cuadro vertical representa el 12.5% de avance de cada paño y cada cuadro horizontal representa una hora de trabajo para realizar el paño. En este ejemplo de la actividad encofrado, se ha utilizado la técnica de programación de líneas de balance, donde se puede visualizar fácilmente que existe un incremento de la velocidad en 20% aproximadamente respecto al planificado.

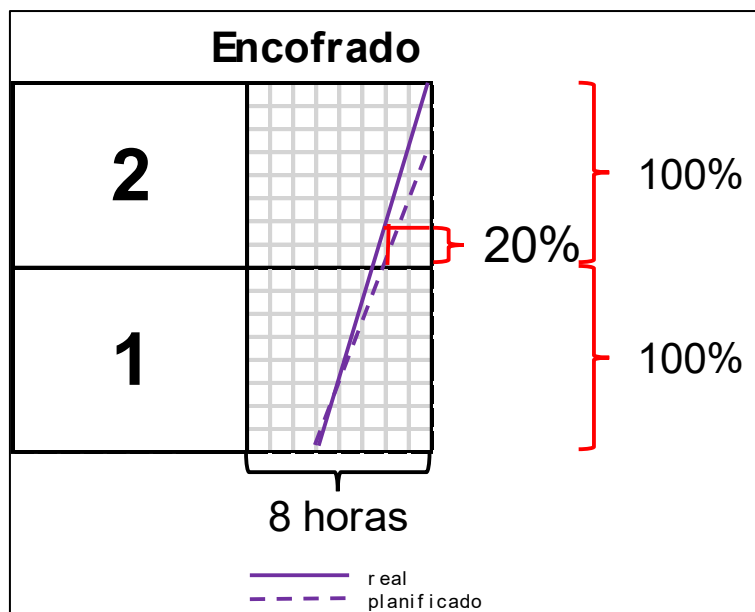


Figura 14: Porcentaje de avance real y planificado de la actividad encofrado.

Además, para verificar los datos mencionados en la Figura 14 se utiliza la ecuación (2), donde se determina que el avance planificado tiene una velocidad de 0.33 paños/hora y del avance real una velocidad de 0.4 paños/hora, es decir que se generó un incremento de la velocidad de 20%.

### 4.3 Discusión

Según la programación de LDB se puede realizar fácilmente el control del cronograma a través de la visualización de las pendientes de cada línea, así como se puede observar en la Figura 14, y al implementar la técnica de programación LDB, la mayoría de autores solo se enfoca en el avance de obra a través del control de velocidades, así como lo menciona [2] en su tesis “Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones” y el autor [1] en su tesis “Optimización de la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural en un edificio multifamiliar utilizando el método de línea de balance”.

El presente estudio de investigación, a diferencia de los trabajos mencionados, propone mejorar el control del cronograma de obra implementando el porcentaje de avance de las actividades relativo a lo planificado, con base en la facilidad de la visualización de la gráfica LDB.

Así mismo, se determina el rendimiento meta y real de la actividad encofrado a partir de la ecuación (3):

$$\text{Rendimiento meta} = 0.33 \frac{\text{paños}}{\text{hora}} \times \frac{18.50 \text{ m}^2}{1 \text{ paño}} \times \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 48.84 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$\text{Rendimiento real} = 0.40 \frac{\text{paños}}{\text{hora}} \times \frac{18.50 \text{ m}^2}{1 \text{ paño}} \times \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 59.20 \text{ m}^2/\text{día}$$

En la

TABLA 6 se realiza el cálculo de ratio de mano de obra de la partida encofrado del avance planificado, así mismo se calcula el costo de mano de obra.

**TABLA 6 - RATIO DE MANO DE OBRA DE LA PARTIDA ENCOFRADO DEL AVANCE META**

<b>Partida :</b>	<b>Encofrado - Meta</b>					
<b>Rendimiento :</b>	<b>MO 48.84</b>	<b>m2/día</b>	<b>EQ</b>			<b>S/m2</b>
<b>Descripción de Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>16.28</b>
Operario	hh	2.00	0.3276	20.07	6.57	
Peón	hh	4.00	0.6552	14.81	9.70	
		<b>Ratio MO</b>	<b>0.9828</b>	<b>HH/M2</b>		

En la TABLA 7 se realiza el cálculo de ratio de mano de obra de la partida encofrado del avance real, además se calcula el costo real de mano de obra.

**TABLA 7 - RATIO DE MANO DE OBRA DE LA PARTIDA ENCOFRADO DEL AVANCE REAL**

<b>Partida :</b>	<b>Encofrado - Real</b>					
<b>Rendimiento :</b>	<b>MO 59.20</b>	<b>m2/día</b>	<b>EQ</b>			<b>S/m2</b>
<b>Descripción de Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>13.43</b>
Operario	hh	2.00	0.2703	20.07	5.42	
Peón	hh	4.00	0.5405	14.81	8.01	
		<b>Ratio MO</b>	<b>0.8108</b>	<b>HH/M2</b>		

Por lo tanto, se observa que la LDB genera un incremento en el rendimiento. Por esta razón, se puede visualizar una mejora en el ratio de Mano de Obra, tal como se aprecia al comparar la

TABLA 6 y TABLA 7 del avance real y meta, es decir que se reduce el tiempo de horas hombre para realizar una actividad y en consecuencia se reduce el costo a 17.51% de la mano obra, al gestionar e implementar la técnica de programación LDB.

Finalmente, en la Figura 4 se realizó un diagrama de flujo de la técnica de programación con LDB, para mejorar el proceso y comprensión de la elaboración de las Líneas de Balance, lo que permitió una fácil identificación de los procesos y una optimización del tiempo al obtener las variables como la velocidad y el rendimiento, a diferencia de otros autores [1] , [11].

## 5. CONCLUSIONES

- Al aplicar el método de las LDB, se logró gestionar el control de avance por la facilidad de identificar las pendientes, puesto que reflejan los atrasos, adelantos o cualquier inconveniente durante la ejecución de la construcción de los muros anclados, por lo tanto, se concluye que al gestionar esta técnica se redujo el tiempo de ejecución de muros anclados planificado inicialmente en 11 días hábiles, reduciendo finalmente el tiempo de la construcción del tercer anillo de muros anclados en tan solo 10 días hábiles, sin embargo, no se contaron los cuatro días de paralización de obra impuesta por la administración de la municipalidad, con lo que resultó en mayor tiempo de entrega del tercer anillo.
- La técnica de programación LDB, permitió obtener un mejor control del rendimiento, ya que al obtener con facilidad las velocidades de cada actividad de muros anclados, se pudo identificar el problema y hacer las correcciones necesarias para incrementar las velocidades y por consecuencia mejorar el rendimiento y el ratio de las cuadrillas.
- Al implementar LDB, se logró conocer la ubicación de cada actividad y así evitar interferencias entre ellas, y a medida que se avanzó con la ejecución de la construcción de muros anclados, se identificaron fallas de coordinación en aquellas actividades que dependen de otras.
- Se logró mejorar la gestión en el tiempo y por consecuencia minimizar el costo, ya que se implementó el control del avance por porcentaje de las actividades de la partida de muros anclados del tercer anillo. De acuerdo con las velocidades a diferencia de otros estudios realizados [2] , [1].
- Al implementar el diagrama de flujo elaborado, se logró una mejor identificación de los procesos que se llevaron a cabo al realizar las LDB. Por lo tanto, se generó una optimización del tiempo del personal encargado del procesamiento y análisis de LDB.
- Al aplicar la técnica de programación LDB se obtuvo una mejora en la gestión del tiempo en 3.57% con relación a las velocidades de avance, aplicando mejoras en el ratio y mano de obra a través del control del cronograma por porcentajes de avance de las actividades relativo a lo planificado.

## 6. REFERENCIAS

- [1] J. W. Izquierdo Chombo, «Optimización de la Gestión del Tiempo en la etapa de casco estructural en un edificio multifamiliar utilizando el Método de Línea de Balance (Tesis de Pregrado),» Lima, Perú, 2016.
- [2] S. E. Calampa Vega, «Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones (Tesis de Pregrado),» Lima, Perú, 2014.
- [3] J. D. Camarena Castro y M. Chacmana Jimenez, «Gestión del Tiempo para Identificar las Actividades Críticas en la Etapa de Obra Fruesa del Centro Comercial Real Plaza Este (Tesis de Pregrado),» Lima, Perú, 2019.
- [4] J. H. Loría Arcila, «Programación de obras con la técnica de la línea de balance (Trabajo doctoral),» *ai México*, 2012.
- [5] S. M. Gabillo Zapata y F. Mejía Ortiz, «Optimización de la eficiencia del proceso constructivo en la partida de encofrado de vigas mediante la aplicación de cartas de balance y líneas de balance, bajo un enfoque lean, para optimizar la mano de obra (Tesis de Pregrado),» Lima, Perú, 2014.
- [6] F. M. Gutiérrez Lazarte, «Planeamiento y Control de la Producción basados en sistemas de Localización (El LBS vs WBS),» de *Congreso Nacional Lean Construction*, Lima, 2017.
- [7] PMBOK, Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, Sexta ed., PMBOK®, 2017.
- [8] P. Orihuela y D. Esteves, «Aplicación del método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra,» *Encuentro Latinoamericano de Gestion y Economia de la Construcción*, 2013.
- [9] A. Mauricio Sepúlveda, «Aplicación del Método Líneas de Balance al Sistema Last Planner en Proyectos de

Construcción Horizontal (Tesis de maestría),» Montorrer Nuevo León, México, 2017.

- [10] EDIFICA, «La Filosofía "Lean Construction",» Grupo Edifica, 2011.
- [11] L. Chun Torres y E. Sevillano Sierra, «Planificación maestra aplicando líneas de balance a la obra “Edificio multifamiliar residencial Pedro Urraca”»- Trujillo, en la mejora de la eficiencia (Tesis de Pregrado),» Trujillo, Perú, 2015.
- [12] J. G. Rueda Borja, «Proceso constructivo para la construcción de un puente peatonal en el recinto Cauchiche ubicado en la isla puna de la provincia del Guayas (Tesis de pregrado),» Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [13] M. Vera Gomez, «Línea de Balance aplicada a proyectos de Construcción,» *Revista Digital Apuntes de Investigación*, vol. 5, 2013.
- [14] L. F. Botero Botero y A. H. Acevedo, «Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones,» *Ingeniería y Ciencia*, vol. VII, nº 13, pp. 29-45, 2011.
- [15] H. R. Terán Pérez, «Guía de la Implementación del Sistema Línea de Balance en la Programación de Proyecto Inmobiliarios (Tesis de Pregrado),» Quito, Ecuador, 2016.
- [16] O. Seppänen, M. Soini y I. Leskelä, «Implementation of Line-of-Balance Based Scheduling and Project Control System in a Large Construction Company,» de *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Helsingör, Denmark, 2004.
- [17] A. Gómez Cabrera, N. Quintana Pulido y J. O. Ávila Diaz, «Simulación de eventos discretos y líneas de balance, aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo de la cimentación de un edificio,» *Ingeniería y Ciencia*, vol. 11, nº 21, pp. 157-175, 2015.
- [18] S. Kammer, L. Heineck y T. Alves, «Using the Line of Balance for production System Design,» de *16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, At Manchester, UK, 2008.
- [19] O. B. Tokdemir, H. Erol y I. Dikmen, «Delay Risk Assessment of Repetitive Construction Projects Using Line-of-Balance Scheduling and Monte Carlo Simulation,» *ASCE*, 2018.