



Análisis de métodos de programación de obra. Caso: Biblioteca de la Universidad del Azuay

Analysis of work scheduling methods. Case: Library of the University of Azuay

Análise de métodos de agendamento de trabalho. Caso: Biblioteca da Universidade de Azuay

Miguel Ángel León-Guevara ^I
miguel.leon.93@est.ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6598-4387>

Pablo Tiberio Vásquez-Quiroz ^{II}
pablo.vasquez@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3261-5523>

Correspondencia: miguel.leon.93@est.ucacue.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de junio de 2022 * **Aceptado:** 12 de julio de 2022 * **Publicado:** 26 de agosto de 2022

- I. Arquitecto por la Universidad Católica de Cuenca, Posgradista en el Programa de Maestría en Construcciones con la Mención en la Administración de la Construcción Sustentable en la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- II. Ingeniero Civil por la Escuela Politécnica del Ejército – ESPE, Ecuador; Magíster en Dirección de Empresas por la Universidad Andina Simón Bolívar – UASB, Ecuador; Project Management Professional – PMP® por el Project Management Institute – PMI, USA; Disciplined Agile Scrum Master – DASM® por el Project Management Institute – PMI, USA, Especialista en Negociación por la Universidad de Harvard USA; Docente Tutor maestría en el Programa de Maestría en Construcciones con mención en la Administración de la Construcción Sustentable. En la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.

Resumen

Esta investigación, presenta un análisis y propuesta para los métodos de programación de obra aplicado en la Biblioteca de la Universidad del Azuay. Se aplica un método exploratorio y relacional con enfoque cuantitativo, ya que se estudia un proceso que no está claramente definido a partir del análisis numérico de un caso en concreto y relacionarlos con variables asociadas que conlleven a una posible solución y comprensión del caso en estudio. Se inicia con una exploración bibliográfica en la cual, se revisan las principales concepciones y aportes teóricos relacionados con los métodos de programación de obra, especialmente con el método PERT, CPM, GANTT y LDB. Asimismo, se analizan los datos registrados en la Biblioteca del Azuay para evidenciar cual fue el proceso organizativo y de planificación ejecutado. Con la información recopilada, se procede a ingresar los datos en el programa MS Project para determinar cual de los métodos de programación es el más efectivo para disminuir los tiempos de entrega. La hipótesis planteada, es que la implementación de los métodos de planificación de obra es capaz de reducir los tiempos de ejecución y mejorar la organización de los procedimientos constructivos. Se pudo evidenciar que todos los métodos de programación de obra disminuyeron el porcentaje de días de ejecución, sin embargo, el más eficiente fue el método LDB.

Palabras clave: Programación de obra; Eficiencia; Planificación; Tiempo de ejecución.

Abstract

This research presents an analysis and proposal for the work programming methods applied in the Library of the University of Azuay. An exploratory and relational method with a quantitative approach is applied, since a process that is not clearly defined is studied from the numerical analysis of a specific case and relate them to associated variables that lead to a possible solution and understanding of the case under study. It begins with a bibliographical exploration in which the main conceptions and theoretical contributions related to work scheduling methods are reviewed, especially with the PERT, CPM, GANTT and LDB methods. Likewise, the data recorded in the Azuay Library is analyzed to show what was the organizational and planning process executed. With the information collected, the data is entered into the MS Project program to determine which of the programming methods is the most effective to reduce delivery times. The proposed hypothesis is that the implementation of construction planning methods is capable

of reducing execution times and improving the organization of construction procedures. It was possible to show that all the work scheduling methods decreased the percentage of days of execution, however, the most efficient was the LDB method.

Keywords: Work programming; Efficiency; Planning; Execution time.

Resumo

Esta pesquisa apresenta uma análise e proposta para os métodos de programação de trabalho aplicados na Biblioteca da Universidade de Azuay. Aplica-se um método exploratório e relacional com abordagem quantitativa, uma vez que um processo não claramente definido é estudado a partir da análise numérica de um caso específico e relacioná-los com variáveis associadas que levam a uma possível solução e compreensão do caso em estudo. Inicia-se com uma exploração bibliográfica em que são revisadas as principais concepções e contribuições teóricas relacionadas aos métodos de escalonamento do trabalho, especialmente com os métodos PERT, CPM, GANTT e LDB. Da mesma forma, os dados registrados na Biblioteca Azuay são analisados para mostrar qual foi o processo organizacional e de planejamento executado. Com as informações coletadas, os dados são inseridos no programa MS Project para determinar qual dos métodos de programação é o mais eficaz para reduzir os prazos de entrega. A hipótese proposta é que a implementação de métodos de planejamento de obras é capaz de reduzir os tempos de execução e melhorar a organização dos procedimentos construtivos. Foi possível mostrar que todos os métodos de escalonamento de obra diminuíram o percentual de dias de execução, porém, o mais eficiente foi o método LDB.

Palavras-chave: Programação de trabalho; Eficiência; Planejamento; Tempo de execução.

Introducción

En el contexto ecuatoriano, las actividades de la Industria de la Construcción (IC) se encuentran en auge y representan una de las contribuciones más importantes para el desarrollo económico en este país (Bustos et al., 2021). Según Osorio y Cazares (2019) la construcción es la tercera participación al sector económico más importante para Ecuador con el 8,42% de aportación al PIB en el 2019, solo por debajo de la industria petrolera, minas y comercio. Respecto a esto, Velástegui et al. (2018) mencionan que la IC también representa un modelo generador de

desarrollo socioeconómico en este país, ya que es una de las actividades que integran varias necesidades relacionados con otros oficios, servicios, provisiones y profesionales, por lo tanto, es un generador de líneas de negocio dentro del sector.

Por otro lado, como mencionan Jraisat et al. (2016) ya que el IC ha adquirido gran relevancia en los últimos años, los estándares de calidad son más altos, lo que impulsa a las compañías constructoras a invertir recursos para mejorar la efectividad de sus procesos para cumplir los nuevos requerimientos y mantenerse relevantes y competitivos en este mercado. Asimismo, Paredes et al. (2020) menciona que una forma de incrementar la efectividad de las actividades constructivas, es a través de la implementación de métodos de Programación de Obra (PO), que hace referencia a un ordenamiento secuencial de labores que son necesario para ejecutar y concluir un proyecto de construcción, que tiene en consideración todos los factores inherentes a una obra, desde la planificación, disponibilidad de recursos, talento humano hasta los tiempos de entrega para asignar todos los recursos necesarios para cada actividad.

Respecto a la programación de obra, Gómez y Orobio (2015) y García de Soto et al., (2020) mencionan que este proceso gestor, tiene gran relevancia para la ejecución de cualquier proyecto enmarcado en las exigencias de la IC actual, ya que permite realizar una identificación, análisis y planificación de posibles riesgos durante la ejecución, que permitan tomar acciones oportunas y preventivas que reduzcan costos de inversión, mejoren la calidad del resultado final y reducir impactos negativos sobre las metas del proyecto.

Como menciona Luzuriaga (2018), la planificación de obra ha representado un antes y un después para la industria puesto que, hasta algunas décadas atrás la gran mayoría de los proyectos desarrollados en el sector de la construcción se formulaban, gestionaban y construían acorde al instinto, experiencia y buen juicio del constructor y sobre todo de las condiciones socioeconómicas y culturales de cada región. Es decir, que los posibles errores que pudieran cometerse durante esta época debían solventarse durante la ejecución, provocando un incremento significativo de los tiempos de entrega y costos de inversión.

Seguidamente Oti et al. (2021) mencionan que en la actualidad, el mercado donde se mueve la IC se han dinamizado en los últimos años, puesto que la planificación de proyectos ha adquirido mayor relevancia debido a los requerimientos de la misma industria que demanda proyectos complejos en la menor cantidad de tiempo y con la mínima inversión posible. Del mismo modo, algunos factores como las condiciones socioeconómicas de los países, la competencia

tecnológica, las exigencias de rentabilidad o los requerimientos gubernamentales para las certificaciones y garantías constructivas para el estado han desencadenado que la gestión de proyectos constructivos modifique su modo tradicionalista de planificar sus obras hacia modelos más organizados y tecnificados.

Asimismo, según Paredes et al. (2020) Alega que, en la actualidad, muchos sectores de la construcción, especialmente en Latinoamérica, no se utilizan de forma adecuada los modelos de planificación de obras disponibles que ayude a la administración en las actividades de planeación, rentabilidad y procesos previos a la fase operativa que se enfoquen en aspectos legales y de financiamiento para que las obras se desarrollen en un entorno controlado y planificado.

Por todo lo anteriormente mencionado, la presente investigación, realiza una propuesta y análisis de métodos de programación de obra en una construcción existente, específicamente en la Biblioteca de la Universidad del Azuay ubicado en la ciudad de Cuenca – Ecuador. Para cumplir con este propósito, se presenta un análisis del caso de estudio en su fase de ejecución desde sus costos unitarios, se presenta información bibliográfica sobre los métodos de programación de proyectos y se aplican al caso de estudio para verificar cual es el más óptimo y se realiza una comparación entre los tiempos de ejecución de método tradicional vs los métodos de programación de obra.

Fundamentación teórica

A continuación, se presenta las concepciones más relevantes relacionadas con los métodos de planificación y las principales herramientas disponibles para la industria de la construcción, especialmente del método PERT, CPM y LDB.

Programación de obra

Un método de programación de obra, puede definirse como una categorización o sistematización secuencial de todas las actividades involucradas en un proceso de construcción, que tiene en consideración: actividades de planificación, disponibilidad de recursos, economía de la obra, talento humano, transporte y tiempos de entrega, esta información, sirve para asignar todos los recursos que serán necesarios para realizar cada actividad dentro del proyecto y adelantarse a posibles complicaciones en el proceso de ejecución, para disminuir sus efectos negativos sobre los objetivos planteados (Paredes et al., 2020), (Austin et al., 2002). Según, Ardila y Francis

(2020) en síntesis, que los métodos de PO se refieren a la asignación óptima de recursos involucrados en actividades constructivas para ser aprovechados en el tiempo de acuerdo a su nivel de importancia o por sus limitaciones dentro del contexto en el que se desarrolla para evitar retrasos e incumplimiento de plazos.

Al respecto, Rodríguez y Castro (2021) y Shahsavand et al. (2018) Aluden que tiempos de ejecución de obra no programados se ha convertido en una de las principales problemáticas que afectan de forma directa la IC ya que los retrasos provocados por una mala planificación de las obras pueden interferir en el financiamiento, incrementar los costos de construcción, e incumplimiento de plazos contractuales que pueden generar demandas y acciones legales por parte de los contratantes.

Respecto a la aplicación de PO como estrategia para disminuir retrasos en los proyectos de construcción, Sigüenza (2017) menciona que: en general, las partes involucradas en los procesos de construcción deben observar que la aplicación del programa de control técnico en una obra civil tiene un carácter prioritario y que los beneficios económicos de esta programación se pueden incrementar tanto para los contratistas y la entidad contratante.

Modelos de programación

Si bien la programación de obra puede ser considerado un concepto relativamente nuevo que fue instaurado dentro de los parámetros actuales de la construcción a finales de los 80's, la realidad es que la humanidad ha utilizado la PO de forma intuitiva a lo largo de toda su historia, especialmente en proyectos a gran escala o que poseen un nivel de complejidad importante (Mattos y Valderrama, 2019). Al respecto, D'Onofrio (2017) y Maidamisa (2017) mencionan que las actuales técnicas de planificación, de forma general, están basados en el Método del Camino Crítico o CPM por sus siglas en inglés, fue desarrollado en estados unidos en el siglo pasado para usos militares y civiles de forma independiente que sentaron las bases teóricas y técnicas de las metodologías de la PO en tiempos modernos, especialmente para proyectos unitarios no repetitivos. En los siguientes apartados se abordan cuáles son las principales metodologías de programación de obra:

A) Método PERT

El método de PERT se considera un instrumento de recolección de información para tomar decisiones que se enfoca en el tiempo y costo de un proyecto, también, se considera que una red basada en este método, no tiene una única solución, ya que dependerá de las prioridades que se le

dé a cada actividad (Ramos y Flores, 2017). Con las estimaciones de este método se puede generar un de la varianza, que define la incertidumbre por cumplir los plazos establecidos y por medio de diferentes fórmulas y gráficas obtener información como: tiempo mayor, tiempo menor, holgura, ruta crítica (camino con holgura mínima), función normal de distribución, entre otros (Gómez y Orobio, 2015), (Nemaa, 2020). La finalidad es tener la mayor información por medio de números y gráficas que ayudan a los gestores a tomar mejores decisiones en sus obras. A continuación, se muestra el proceso de método PERT (Kholil et al., 2018):

- Identificación de las actividades. Esta fase se considera de identificación, es decir, se plantean todo y cada uno de los componentes que intervienen en un proyecto sin excepción de ninguna variable.
- Determinación de actividades iniciales. Para esta etapa, se establecen cuales serán las primeras actividades en ejecutarse que darán partida a todas las demás acciones
- Actividades simultaneas. Se definen cuáles son las actividades que pueden llevarse a cabo conjuntamente con las actividades principales sin causar una confluencia.
- Determinación de actividades de segundo orden. Esta fase se aplica de forma similar a las actividades principales, se buscan las actividades que pueden realizarse conjuntamente con las actividades de segundo sin interferir con las actividades principales y secundarias, este proceso continuo hasta que se cumplen con todos los procedimientos planificados.
- Identificación de tiempos. Esta etapa consiste en identificar a través de la experiencia y la información teórica disponible cuales es el tiempo estimado de cada actividad para plantear objetivos de cumplimiento.
- Rutas críticas. En esta fase, se contemplan cuáles son las rutas procedimentales más críticas para todo el proyecto y se enmarcan con un rango superior a otras rutas.

B) Método CPM

Según las aportaciones de JAY (2009) y Liu et al. (2021) se puede conceptualizar al método CPM como un modelo de programación que permite la definición de la ruta crítica dentro de un proceso constructivo, es decir, se refiere a la determinación secuencial y ordenada de todas las actividades, desarrollos y etapas que son necesarias para culminar una obra. Una de las características más representativas de la ruta crítica, es que las actividades que la conforman son consideradas como primordiales para la ejecución, es decir, en caso de que algún procedimiento

de esta ruta llegase a retrasarse afectaría de forma significativa en todos los procesos posteriores que dependían esta ejecución, por lo tanto, se puede argumentar que esta ruta influye directamente en el cumplimiento de plazos de obra.

Al respecto, Espinoza et al., (2021) menciona que, para realizar el cálculo de la ruta crítica tiene varias implicaciones para desarrollarlo de forma adecuada, sin embargo, se pueden diferenciar 2 principales. El primero, hace referencia al paso adelantado, que determina cuales son los tiempos más eficientes o idóneos para la ejecución de actividades constructivas, por otro lado, el paso retrasado se refiere a la determinación de los tiempos de ejecución de obra que se tardan más en cumplir. En concordancia con lo anteriormente mencionado, Pupo et al. (2018) mencionan que el marco de trabajo que se debe tomar en cuenta es el siguiente:

- Definición: hace referencia al establecimiento de acciones de preparación del proyecto donde se desglosa las actividades y se prepara toda la estructura
- Relación entre actividades: en esta parte se establecen cuáles son las actividades dependen una de otras para determinar que procesos deben seguir a otros
- Dibujo: una vez que se establecieron las relaciones de las actividades es momento de plasmar la ejecución de forma gráfica para mejorar la comprensión de la ruta crítica.
- Estimaciones: en esta parte se asignan cuáles son las estimaciones de los tiempos de ejecución de cada actividad y se adjunta un costo aproximado
- Ruta crítica: en esta etapa se realiza el cálculo de la ruta más larga para la ejecución.
- Planeación: se utilizan todos los datos determinados en las fases anteriores para realizar la planificación de las actividades, asimismo se usa los datos para programar, supervisar y controlar los procesos constructivos.

C) Método LDB

Como menciona Orihuela (2013), la planificación de obras por Líneas de Balance o por sus siglas LDB, se puede definir como un método de programación que presenta sus resultados de manera gráfica y que considera la localización de una obra como un eje central dentro de sus dimensiones de análisis ya que el lugar donde se desarrolla un procedimiento o actividad constructiva puede dar información importante relacionado con la disponibilidad de recursos, tiempos de entrega, disponibilidad de mano de obra, entre otros. Estos factores pueden influir de forma significativa en la programación de obra, tanto para mejorar la eficiencia o en los retrasos de ejecución.

Según los aportes de Ammar (2022) y Su et al. (2015) la línea de balance, es principalmente utilizado durante las planificaciones de obra para mostrar de forma secuencial, cuales son las actividades que se van a ejecutar durante un proyecto constructivo de manera intuitiva y gráfica, formadas a través de líneas dispuestas según la información que muestra, es decir, en los ejes horizontales de la gráfica se puede visualizar los tiempos de los procedimientos, mientras que en los ejes verticales se observa cual es el área de localización de los trabajos. Es importante aclarar que el LDB no describe de una manera detallada cuales son las actividades a ejecutar, por el contrario, lo que realiza este método es la diagramación de los ritmos de obra, para mejorar la productividad desde un enfoque general y no de una manera local.

Metodología

Esta investigación implementa un metodología exploratoria y relacional con enfoque cuantitativo, ya que se estudia un fenómeno que no está claramente definido por medio de un estudio numérico de un caso en concreto y relacionarlos con variables asociadas que conlleven a una posible solución y comprensión del caso en estudio. En la figura 1 se puede apreciar los pasos de esta metodología:

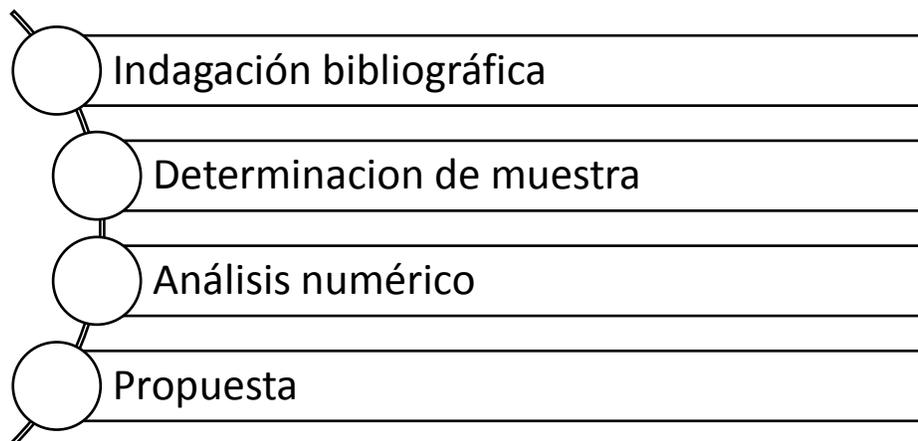


Figura 1: Método de Trabajo

Como se puede observar en la figura anterior, el método de trabajo inicia con una indagación bibliográfica, para cumplir con esta etapa se realiza una búsqueda e identificación de documentos en repositorios académicos en la red con temas relacionados a: programación de obras, métodos

de programación de obras y planificación en páginas (Redalyc, Scielo, Scopus, Google académico entre otros). Del mismo modo, se aplicaron algunos criterios de inclusión y exclusión de documentos que se mencionan a continuación:

- Criterios de inclusión: se incluyen artículos científicos publicados y documentos de rigor científico con respaldo bibliográfico, material documental cuyos objetivos coinciden con los de esta investigación, estudios en inglés y español, documentos de máximo 10 años de antigüedad.
- Criterios de exclusión: Tesis de grado, documentos en portugués o idiomas asiáticos, blogs, investigaciones que no respalden sus afirmaciones bajo referencias bibliográficas pertinentes.

Para la segunda parte de la metodología, se escoge un proyecto de construcción del cual se tenga toda la información necesaria para proceder a realizar la comparación con otras variables asociadas, para este caso, se usó el proyecto de la Biblioteca de la Universidad Del Azuay ubicado en la ciudad de Cuenca – Ecuador ya que se tiene todos los datos relacionados con los precios unitarios, procedimiento de ejecución e insumos básicos utilizados durante su construcción, por lo cual, la ejecución de estos rubros podrán ser comparados al aplicar los diferentes métodos de programación para verificar si es posible optimizar los costos de obra.

Seguidamente, para el análisis numérico, se utiliza los datos recopilados durante la fase de determinación de la muestra para procesarlo en el software InterPro para el análisis de los precios unitarios, insumo básico para el desarrollo y aplicación de los métodos de programación de obras. Dependiendo del método que se aplique (CPM, PERT o LDB) se utilizará el software que cada uno de ellos determine para el análisis de la programación de la obra.

Con toda la información recopilada, y luego de realizar la comparativa mediante el programa InterPro, se procede a elaborar una propuesta de un nuevo método, basado en los utilizados para hacer más eficiente la programación de obra en el caso de estudio, y que también se pueda utilizar en el futuro para nuevos proyectos de construcción.

Análisis de caso de estudio

El caso de estudio de esta investigación es la Biblioteca del Azuay, que surge como una respuesta al espacio insuficiente para la lectura e investigación de estudiantes, profesores y público en general de la Universidad del Azuay ubicada en la calle 24 de mayo en Cuenca - Ecuador.

Asimismo, se espera que la edificación cumpla con el confort y comodidad necesarios para brindar un buen servicio para el público objetivo.

Esta obra, tuvo necesidades específicas, como el plazo de construcción limitado, que fue de 90 días calendario, por lo tanto, hubo que realizar las planificaciones durante la ejecución de la obra con la finalidad de entregar lo establecido dentro de los plazos, es decir, no hubo una programación sobre todo el proyecto y se realizaban planificaciones semanales para la ejecución de actividades, en los que se involucraban varios profesionales en los distintos rubros. Sin embargo, pese al tiempo limitado y las condiciones para la planificación, se elaboró una Estructura de Desglose del Trabajo o por sus siglas en inglés WBS que se observa en la figura 2.

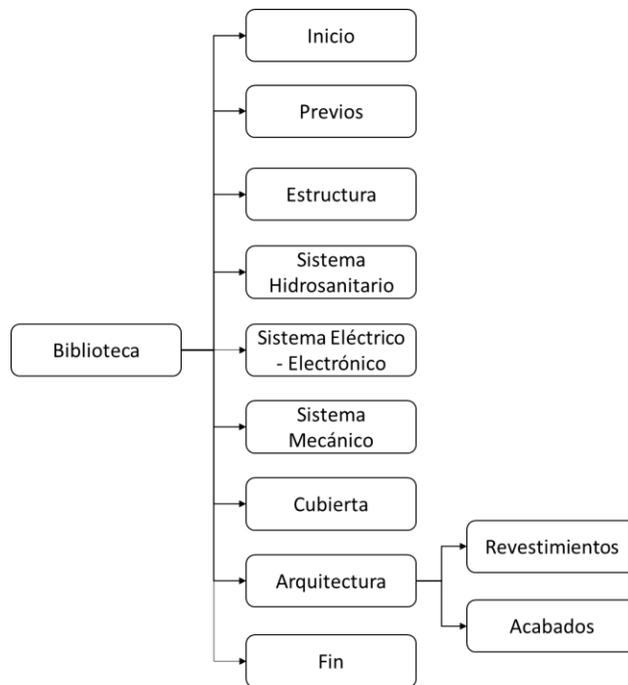


Figura 2: WBS del Proyecto

Cada actividad presentada en la figura anterior se desglosó en varios rubros en la tabla 1:

Figura 3: Actividades y Rubros del Proyecto

ACTIVIDAD	RUBROS
Preliminares	Replanteo y nivelación
	Excavación de plintos y cimientos

		Relleno compactado con material de mejoramiento
		Cimiento de hormigón ciclópeo
Estructura		Hormigón simple para replantillo
		Hormigón simple plintos
		Acero para vigas
		Hormigón simple cadenas
		Acero para columnas
		Hormigón simple columnas
		Placa colaborante en losas
		Acero para losas
Sistema hidrosanitario		Hormigón simple para losa
		Tubería de agua fría
		Instalación de agua fría con llave de control
		Tubería de aguas servidas 2
		Punto de aguas servidas 2
		Tubería se aguas servidas 4
		Punto de aguas servidas 4
		Caja de registro con tapa y cerco metálico
Sistema eléctrico electrónico		Inodores
		Lavamanos
		Urinarios
		Instalaciones eléctricas de iluminación
		Instalaciones de tomacorriente
Sistema mecánico		Instalaciones eléctricas de tomacorriente
		Tableros de control
Cubierta		Instalación de datos
		-
		Acero para cubierta metálica
		Placas de fibrocemento para cubierta
		Láminas asfálticas para impermeabilización

Arquitectura (revestimiento)	Mampostería ladrillo
	Enlucido vertical interior – exterior
	Enlucido de filos
	Pintura interior
	Pintura exterior
Arquitectura (acabados)	Fachada flotante
	Recubrimiento
	Pasamanos
	Porcelanato en piso de baños
	Porcelanato en paredes de baños
	Hormigón pulido en pisos
	Cielos rasos planos
	Puertas tamboradas

Por otra parte, al analizar la figura 3, se puede observar que todas las actividades se realizaron en conformidad con el plazo de entrega con una extensión máxima de 13 semanas, es decir, 90 días calendario.

Figura 4: Cronograma de Trabajo del Proyecto.

Actividad	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	Días
Estructura	■	■	■	■	■									30
Eléctrica					■	■								21
Hidrosanitaria			■	■	■	■								34
Mecánica						■	■							10
Previos	■	■	■	■	■	■								41
Cubierta					■	■								10
Acabados							■	■	■	■	■	■	■	56

Nota: Letra “S” hace referencia a las semanas

Del mismo modo, al analizar la tabla 2, se puede observar que las actividades ejecutadas en el proyecto de la biblioteca generaron varios costos, dando un total de 917.228,17 dólares americanos.

Figura 5: Actividades y Rubros del Proyecto

Actividad	Costo (dólares)
Estructura	104.091,01
Eléctrica y electrónica	105000,00
Hidrosanitaria	45.000,00
Mecánica	20.000,00
Previos	41.803,92
Cubierta	115.764,69
Acabados	485568,56
Costo total	917.228,17

Comparación de métodos de programación

Como se pudo observar en la sección anterior, el proyecto de la Biblioteca de la Universidad del Azuay corresponde a una obra lineal con varios rubros, un volumen alto de trabajo para los entregables y ejecutables con varias actividades predecesoras, por lo tanto, es importante analizar que tipo de método de programación se puede utilizar, de acuerdo a sus características y beneficios. Por lo tanto, a continuación, en la tabla 3, se abordan cada metodología:

Figura 6: Comparación de métodos de programación

	GANTT	PERT-CPM	LDB
Principio	Predetermina las actividades principales, así como su duración y las representa en una escala para establecer un orden de ejecución	Es efectivo para iniciar con las planificaciones de obra en cuanto a seguimiento y control de los procesos. Se consideran a los	Desglosa todas las actividades de un proyecto en una sola línea de tiempo. Se usa principalmente en proyectos donde se

<p>Es un método de inicio o planificación inicial resulta extremadamente útil, en razón de conocer el flujo estimado de los trabajos que se van a realizar a lo largo del proyecto y como se vinculan de manera lógica</p>	<p>proyectos de construyen unidades de construcción como una repetitivas conjunción de actividades que están relacionadas unas con otras y que se pueden representar de forma gráfica.</p>
<p>Ventajas Puede simplificar en gran medida las interpretaciones de los gestores de obra, brindando flexibilidad a los procesos y puede representar acciones complejas en sencillas actividades en el tiempo</p>	<p>Puede definir cuáles son las relaciones entre las actividades predecesoras. Presenta un cronograma visual e intuitivo que muestra el sentido de ejecución de obra con la implementación de flechas ascendentes y descendentes. Permite analizar de forma efectiva los tiempos más efectivos y tardíos de una ejecución de obra para mejorar la productividad. Se identifican de manera oportuna las necesidades de los proyectos para reprogramar en cualquier etapa de desarrollo en la obra</p>
<p>Control</p>	<p>Permite controlar las Se utilizan los datos La relación de tiempo</p>

actividades constructivas del avance del – espacio está a través de la proyecto para presente durante todo comparación de avances monitorear los el diagrama, por lo de barras progresos tanto, se puede Se pueden añadir controlar cada una de recursos a los las actividades elementos de una ruta crítica en caso de ser necesarios

Como se pudo observar, cada método de programación tiene ventajas y propiedades específicas que pueden ser utilizados en la planificación de la obra para reducir al máximo los tiempos de ejecución. Por lo tanto, esta propuesta se basa en incorporar cada uno de estos métodos a los datos para indagar cual es el mejor para este contexto.

Diagrama de Gantt

Para incorporar el diagrama de Gantt se utilizó la base de datos del proyecto determinado en la caracterización del proyecto, es decir, se redistribuyó las actividades y rubros para realizar la planificación inicial, para conocer el flujo estimado de los trabajos que se van a realizar a lo largo del proyecto y como se vinculan de manera lógica. Los resultados de este método se observan a continuación en la tabla 4.

Figura 7: Duración de actividades con Método Gantt

Actividad	Duración (días)
Previos	8
Estructura	22
Sistema hidrosanitario	21
Sistema eléctrico	14
Cubierta	10
Arquitectura (revestimientos)	17
Arquitectura (acabados)	18

Asimismo, en la figura 4 se muestra cómo se distribuyó el flujo de trabajo con este método para reducir el tiempo de la ejecución de obra, teniendo en cuenta las actividades que se pueden realizar al mismo tiempo.

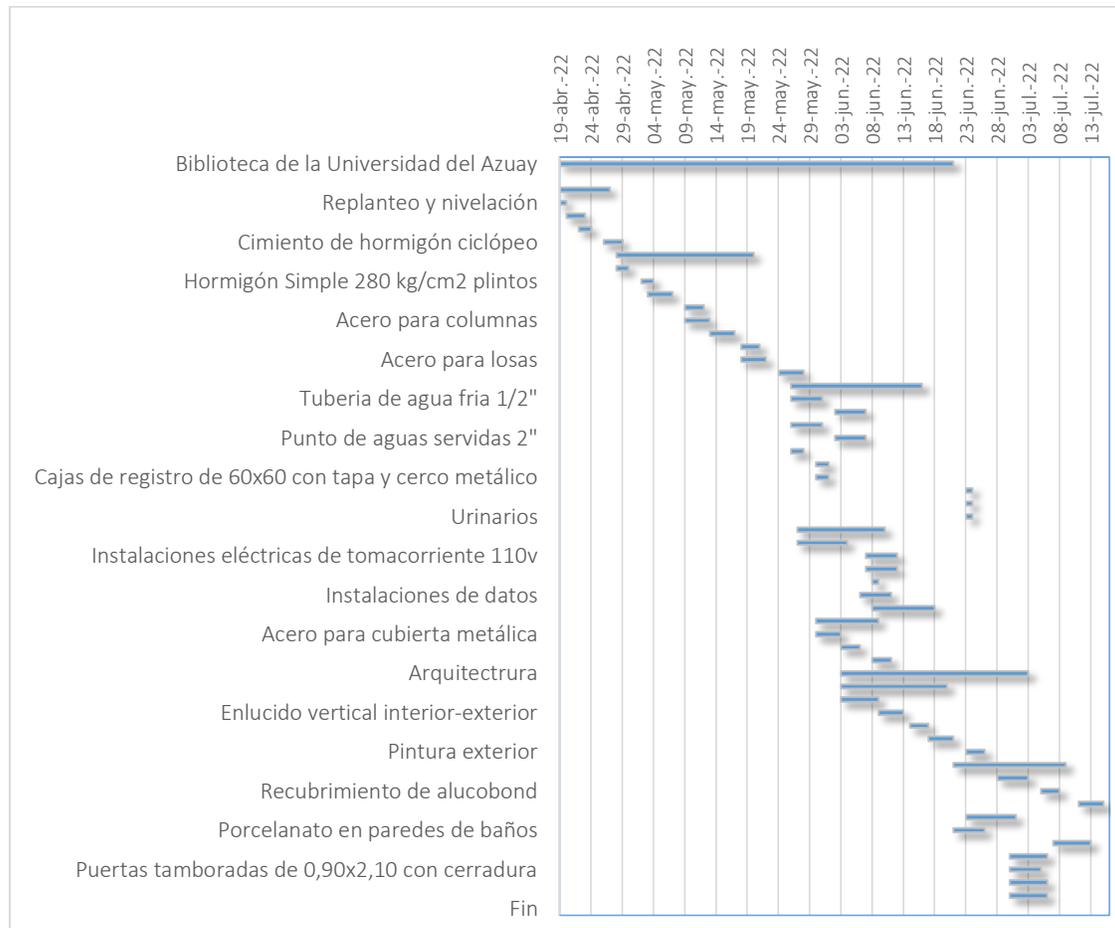


Figura 8: Diagrama de Gantt

Como se puede observar en la figura anterior, el método de programación del Diagrama de Gantt distribuyó el flujo de trabajo de tal forma que se pudo reducir los días de ejecución a 63 días. En base al presentado se puede mencionar que el método si cumple con las consideraciones para la planificación, pero se deben tomar algunas consideraciones:

- Es un método que dé inicio o planificación inicial resulta extremadamente útil, en razón de conocer el flujo estimado de los trabajos que se van a realizar a lo largo del proyecto y como se vinculan de manera lógica.

- Desde un punto de vista gráfico, se puede observar que no es posible denotar cual es el sentido de la ejecución de las acciones constructivas ya que entre sus ejes horizontales y verticales se muestran únicamente el tiempo de duración de cada proceso y su relación con actividades predecesores.
- En cuanto al cronograma de trabajo se puede observar que no se muestra una relación directa entre el tiempo que se toma para cada actividad y el espacio físico para su desarrollo ya que no se puede graficar la relación entre los frentes de trabajo ni la ubicación de zonas de influencia del proyecto. Asimismo, el cronograma muestra cual es la ruta crítica junto con actividades predecesoras y las secuencias para las entregas.
- Cuando se ejecuta el proyecto las actualizaciones del diagrama de Gantt, pueden ser complejas en plasmar, pero no imposible de hacerlo, toma un demandante esfuerzo en su actualización al detalle.

Diagrama Línea de Balance (LDB)

Al igual que en el diagrama de Gantt, se utilizó la base de datos de las actividades realizadas para determinar que actividades se pueden realizar en el mismo periodo de tiempo de manera conjunta para reducir el tiempo de ejecución y como se puede observar en la figura 5 existe una fuerte interrelación entre las actividades de: Acondicionado de cubierta, Sistema eléctrico – electrónico, Revestimientos (al inicio) y el sistema Hidrosanitario. Con este método se logró reducir el tiempo de ejecución de la obra a 56 días calendario o 10 semanas.

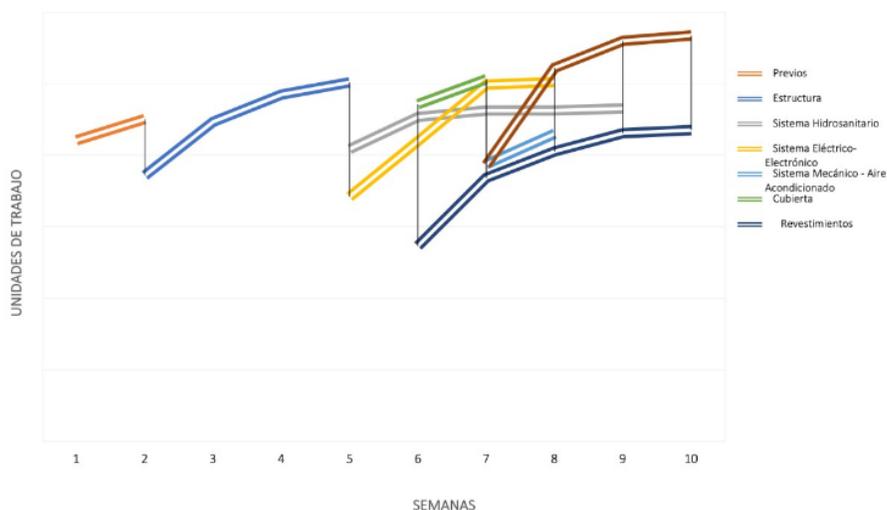


Figura 9: Línea de Balance

En base a lo presentado, se puede alegar que el Diagrama Línea de balance, si cumple con los requerimientos necesarios para la fase de planificación de obra y posterior monitoreo y control de las actividades, puesto que:

- La presentación del cronograma muestra de manera eficiente cuales son las directrices necesarias para ejecutar los procesos constructivos mediante flechas de formas ascendente y descendente.
- Todas las actividades se concadenan entre sí por medio de las flechas graficadas y teniendo en cuenta las actividades predecesoras.
- Se puede diferenciar la ruta crítica de la planificación con las actividades con holgura=0.
- Hay un proceso de secuencialidad entre los procesos constructivos que se muestran gráficamente.
- Se puede diferenciar la relación existente en el tiempo y el espacio durante todo el diagrama.

Método PERT-CPM

Para incorporar el método PERT-CPM se utilizó el programa “MS Project” en el cual, se ingresan las actividades a realizar en la obra y se obtiene una ruta crítica y la determinación de las actividades predecesoras, la secuencia de entregables y la dirección de los trabajos ejecutados. A continuación, en la figura 6 se muestra el resultado obtenido, en el cual, se reduce el tiempo de ejecución de la obra hasta 58 días.

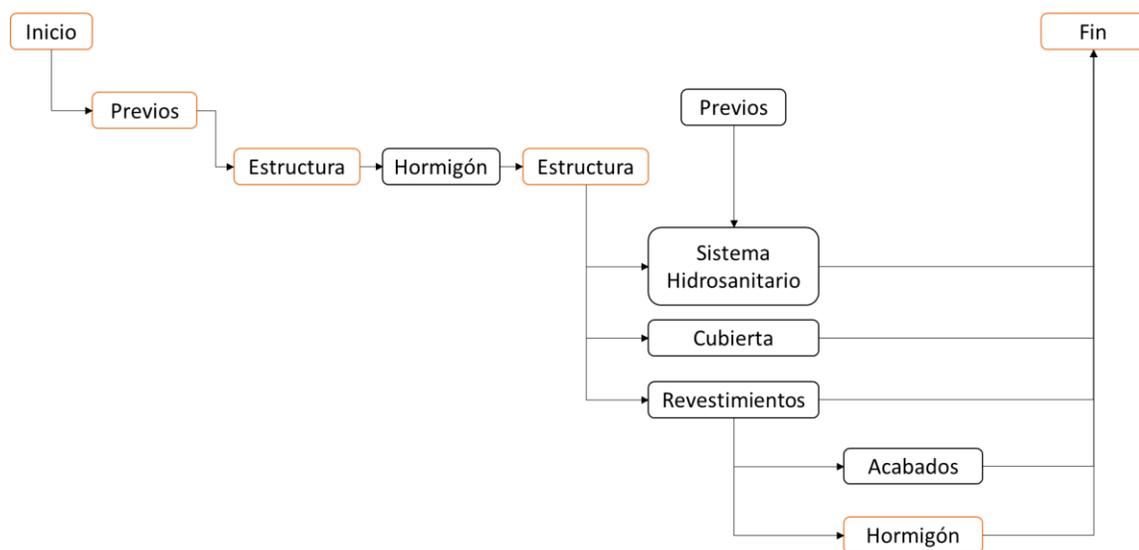


Figura 10: Método PERT-CPM

En base a lo presentado se puede argumentar que el Diagrama PERT-CPM si cumple con todos los requerimientos necesarios para la ejecución de la fase de planificación, además es muy útil para el proceso de seguimiento y control, especialmente en proyectos de tipo lineal, puesto que:

- En la parte del cronograma se muestra fehacientemente cual es la ruta crítica, se muestra las actividades predecesoras, la secuencia de entregables y se identifica con claridad la dirección de las actividades constructivas.
- Cuando se ejecuta el proyecto las actualizaciones del diagrama de red y como consecuencia el diagrama de Gantt, pueden ser sencillas y rápidas de hacer, toma un mediano esfuerzo en su actualización al detalle y proporciona una guía correcta de cuantos, cuáles y la dimensión de los entregables que debe iniciar y terminar en las fechas previstas es decir en la ruta crítica (holgura = 0), así como también genera atención en los entregables críticos (estos, no necesariamente dentro de la ruta crítica).
- Como se puede observar, no se muestran sentidos de la fase de ejecución ya que todo el diagrama se centra en mostrar principalmente la ruta crítica en función a las holguras de cada actividad.
- Del mismo modo, no se muestra la dirección de los diferentes frentes de trabajo ya que el diagrama presentado no tiene un orden lógico para la distribución de las actividades.
- Tampoco se aprecia una relación gráfica entre el tiempo de ejecución y el espacio en el diagrama.

Resultados

Luego de aplicar el análisis de estudio en fase de ejecución determinando sus precios unitarios en la obra ejecutada, la aplicación de los métodos de programación de proyectos GANTT, CPM-PERT y LDB al caso de estudio para determinar cuál de ellos es el más óptimo.

Comparación entre métodos

Como se puede observar en la tabla 5 todos los métodos de programación de obra lograron reducir significativamente el tiempo de ejecución de la obra a comparación del tiempo original. Sin embargo, el mejor método para las características presentadas y el contexto del proyecto, fue el método del LDB ya que redujo en un 37,7% el tiempo respecto al original.

Figura 11: Comparación de Tiempo de Ejecución de Métodos de Programación

Método	Tiempo de ejecución en días	Reducción (%)
Proyecto Original	90	-
Método de Gantt	63	30,0
Método PERT-CPM	58	35,5
Método LDB	56	37,7

Utilización de métodos de planificación en las diferentes fases del proyecto

A continuación, en la tabla 6, se presenta una distribución de los métodos de planificación para las diferentes fases del proyecto, así como los usos más eficientes en cada fase de ejecución.

Figura 12: Fases y Usos de los Métodos de planificación

Método	Fase del proyecto	Uso
PERT – Diagrama de Gantt	Planificación inicial	Organizar las actividades y establecer la temporalización inicial. Se determina la ruta crítica
CPM	Inicio de ejecución	Afinar y establecer cuál es el cronograma de ejecución
LDB	Ejecución	Se complementa el CPM en razón de tener el flujo de trabajos establecido como los recursos necesarios para llevarlos adelante

Conclusiones

Se pudo evidenciar que hay una necesidad intrínseca de programar y controlar todos los procesos involucrados en la ejecución de proyectos constructivos a través de la implementación de nuevas herramientas que permitan obtener información clara y precisa de las actividades que van a ser ejecutados durante todo el proyecto, como una herramienta para efectivizar las planificaciones y reducir los tiempos de entrega de las construcciones.

Se pudo observar a través de la revisión de la literatura existente, que las principales herramientas utilizadas para la planificación en la industria de la construcción son los modelos de Gantt, PERT y CPM. Pese a esto, se identificó que el modelo presentado de Línea de Balance pese a no ser tan utilizado en el medio, propone de manera eficiente una gráfica intuitiva que logra aterrizar todas las particularidades de los proyectos, especialmente en obras lineales de gran envergadura.

Luego de realizar la comparación de las 3 metodologías de programación de obra; Gantt, PERT-CPM y línea de balance a través de varias consideraciones relacionadas con la identificación de rutas críticas, relaciones entre los tiempos de ejecución y espacios dispuestos para su desarrollo, los sentidos de ejecución y la relación de procesos con las actividades predecesoras que pudo identificar ciertas peculiaridades como:

El Diagrama de Gantt es muy bueno para usar en la planificación inicial, el diagrama PERT – CPM se lo utiliza como complemento para la planificación con el diagrama de Gantt y se lo usa además durante la ejecución como guía para el análisis de la ruta crítica y los entregables críticos. El modelo de programación de Línea de balance, si cumple con los requerimientos necesarios para la fase de planificación de obra y posterior monitoreo de las actividades para el caso bajo estudio puesto que desglosa todas las actividades de un proyecto en una sola línea de tiempo, presenta un cronograma visual e intuitivo que muestra el sentido de ejecución de obra con la implementación de flechas ascendentes y descendentes. Además, permite obtener una secuencialidad de las actividades, graficadas.

Referencias

1. Ammar, M. A. (2022). Optimization of line of balance scheduling considering work interruption. *International Journal of Construction Management*, 22(2), 305-316. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1624003>
2. Ardila, F., y Francis, A. (2020). Spatiotemporal Planning of Construction Projects: A Literature Review and Assessment of the State of the Art. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fbuil.2020.00128>
3. Austin, S. A., Baldwin, A. N., Y Steele, J. L. (2002). Improving building design through integrated planning and control. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 9(3), 249-258. <https://doi.org/10.1108/eb021220>

4. Bustos-Chiliquinga, G. V., Rogel, E. M. G., Viejó, J. L. C., y Chingle, D. V. S. (2021). La Inversión privada y su influencia en el sector de la construcción para el crecimiento económico durante el periodo 2007-2018. *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación en Ciencias Administrativas, Económicas y Contables)*. ISSN: 2588-090X . *Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP)*, 6(5), 120-135.
5. D'Onofrio, R. M. (2017). CPM Scheduling: A 60-Year History. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(10), 02517010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001381](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001381)
6. Espinoza, B., Logroño, J., y Romero, W. (2021). *Determinación de los costos comprimidos en la producción y envasado de agua: Caso empresa agua Purissima | 593 Digital Publisher CEIT*. https://www.593dp.com/index.php/593_Digital_Publisher/article/view/751
7. García de Soto, Dr. B., Streule, T., Klippel, M., Bartlomé, O., y Adey, B. T. (2020). Improving the planning and design phases of construction projects by using a Case-Based Digital Building System. *International Journal of Construction Management*, 20(8), 900-911. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1502929>
8. Gómez, H. D., y Orobio, A. (2015). Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras. *DYNA*, 82(193), 155-164. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n193.47453>
9. Jraisat, L., Jreisat, L., y Hattar, C. (2016). Quality in construction management: An exploratory study. *International Journal of Quality y Reliability Management*, 33(7), 920-941. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2014-0099>
10. Kholil, M., Alfa, B. N., y Supriyanto. (2018). Optimization of Production Process Time with Network/PERT Analysis Technique and SMED Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453, 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/453/1/012050>
11. Liu, D., y Hu, C. (2021). A dynamic critical path method for project scheduling based on a generalised fuzzy similarity. *Journal of the Operational Research Society*, 72(2), 458-470. <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1671150>

12. Luzuriaga Hermida, M. E. (2018). *Modelo teórico de gestión del alcance, tiempo y costo basado en estándares PMI® para proyectos inmobiliarios de vivienda*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29531>
13. Maidamisa, A. (2017). Project Management using Critical Path Method (CPM): A Pragmatic Study. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 18. <https://doi.org/10.4314/gjpas.v18i3-4.11>
14. Mattos, A. D., y Valderrama, F. G. F. de. (2019). *Métodos de planificación y control de obras*. Reverte.
15. Nema, Z. (2020). *Pert method for scheduling the project*.
16. Osorio, N. E. G., y Cazares, X. del C. T. (2019). La construcción en el Producto Interno Bruto del Ecuador, 2000-2018. *PODIUM*, 35, 57-68. <https://doi.org/10.31095/podium.2019.35.4>
17. Oti-Sarpong, K., Pärn, E. A., Burgess, G., y Zaki, M. (2021). Transforming the construction sector: An institutional complexity perspective. *Construction Innovation*, 22(2), 361-387. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2021-0071>
18. Paredes_Gutierrez, S., Torres_Tacuri, H., y Gómez_Minaya, R. (2020). Programación de la construcción del tercer anillo de muros anclados de una edificación aplicando el método de líneas de balance. *Revista Investigación y Desarrollo*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-13i>
19. Pupo, J., Ruiz, J., y Pacheco, A. (2018). Aplicación de CPM y costos comprimidos en la producción de cerveza artesanal (Ecuador). Caso de estudio. *Revista ESPACIOS*, 39(28). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n28/18392820.html>
20. Ramos, C., y Flores, C. (2017). *Reducción del tiempo de finalización del proyecto de una planta de conservas de pescado utilizando un Modelo de Programación Lineal | Anales Científicos*. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/480>
21. Rodríguez, E. H. P., y Castro, C. J. C. (2021). Análisis relativo para identificar las causas de retrasos en las obras de construcción. Caso de estudio Cuenca-Ecuador. *Ciencia Digital*, 5(2), 6-15. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1572>
22. Shahsavand, P., Marefat, A., y Parchamijalal, M. (2018). Causes of delays in construction industry and comparative delay analysis techniques with SCL protocol. *Engineering*,

Construction and Architectural Management, 25(4), 497-533.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2016-0220>

23. Sigüenza Toledo, J. L. (2017). *Metodología para el control técnico en obras Civiles mediante los requerimientos de medición Física y administrativa*.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10729>
24. Su, Yi., y Lucko, G. (2015). Comparison and Renaissance of Classic Line-of-balance and Linear Schedule Concepts for Construction Industry. *Procedia Engineering*, 123, 546-556. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.107>
25. Velástegui, A., Franco, M. L. L., León, L. S., y Cumbicos, J. G. N. (2018). La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto PIB en Ecuador1. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 286-299.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).