

Análisis De Rendimiento De La Mano De Obra Con Lean Construction Para Rubros De Alcantarillado Sanitario.

Lean Construction Workforce Performance Analysis For Sanitary Sewerage Sectors

Autores

Ing. Paúl André Añazco Campoverde M.Sc¹ , Adalberto David Tandazo Ramírez² , Ing. Gilbert Adrián Añazco Campoverde M.Sc³ , Ing. Freddy Leonardo Espinoza Urgilés M.Sc⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, panazco@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, atandazo3@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, ganazco@utmachala.edu.ec

⁴Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, fespinosa@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La industria de la construcción es una de las más importantes para el desarrollo de las poblaciones, en Ecuador debido a los escasos recursos disponibles dificulta el progreso en esta área, por esto se buscan soluciones para mejorar la productividad en proyectos de ingeniería, en este caso se optó por realizar el análisis del rendimiento y las fuentes de pérdidas en algunos rubros de un proyecto de alcantarillado sanitario y pluvial, esto mediante el uso de las herramientas que provee la filosofía Lean Construction, esto porque se aplicó estas herramientas en otros proyectos de ingeniería generando resultados satisfactorios en cuando a la evaluación de la productividad y con esto mejora en el rendimientos de los proyectos, de acuerdo con esto se tomó en cuenta 3 rubros que son, reposición de aceras de hormigón, excavación en zanjas e instalación de tuberías y se pudo conocer que en el rubro de instalación de tuberías se tiene una pérdida con respecto al precio establecido en los análisis de precios unitarios, esto debido al bajo rendimiento del rubro que supone una pérdida importante para el proyecto.

Palabras claves: Productividad, Lean Construction, Carta Balance

ABSTRACT

The construction industry is one of the most important for the development of populations in Ecuador, due to the scarce resources available, it makes progress difficult in this area, so solutions are sought to improve productivity in engineering projects, in this case it was decided to perform the analysis of the performance and sources of losses in some areas of a sanitary and storm sewer project, this through the use of the tools provided by the Lean Construction philosophy, this because these tools were applied in other engineering projects generating satisfactory results in terms of the evaluation of productivity and with this improvement in the performance of the projects, according to this, 3 areas were taken into account, which are, replacement of concrete sidewalks, excavation in trenches and installation of pipes and it was possible to know that in the area of pipe installation there is a loss with respect to the price established in the analysis of unit prices, this due to the low performance of the area that supposes an important loss for the project.

Keywords: Productivity, Lean Construction, Balance Sheet

Nota Editorial: Recibido: Marzo 2024 Aceptado: Junio 2024

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos de construcción cada vez se considera de mayor importancia debido a la escasez de recursos económicos que son necesarios para que éstos puedan ser realizados, en base a esto se analiza las pérdidas que son generadas a causa del rendimiento de la mano de obra y las actividades que provocan esto en algunos rubros aplicado en la construcción del alcantarillado sanitario y pluvial de la parroquia puerto Bolívar mediante la ayuda de la filosofía Lean Construction con el fin de aumentar la eficiencia, generando mayor rentabilidad y calidad en el proyecto.

Las herramientas que provee esta filosofía llevan implementándose por varios años en la industria de la construcción, sin embargo, inicialmente se la implemento en la industria automotriz y posteriormente gracias a los resultados satisfactorios obtenidos se decidió aplicarla en la construcción en fases como la gestión, diseño y ejecución de proyectos de construcción.

El objetivo principal de este proyecto es el análisis de los rendimientos de mano de obra enfocado a la "Construcción del alcantarillado sanitario de la parroquia Puerto Bolívar" mediante la aplicación de la filosofía Lean Construction, conociendo las fuentes de pérdidas generadas por el rendimiento en algunos rubros del proyecto.

Para realizar este trabajo de investigación primero se definió un marco teórico acerca de estudios recientes sobre la productividad en la construcción y el impacto de nuevas herramientas basadas en la filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos, también se define las herramientas que servirán para el diagnóstico de rubros en la construcción del alcantarillado sanitario y pluvial de la parroquia puerto Bolívar, y finalmente según los datos obtenidos se puede conocer cómo se está llevando a cabo los trabajos con el fin de buscar soluciones que serán aplicables al contexto del proyecto para aumentar la productividad de la mano de obra.

2. METODOLOGÍA

Para el siguiente trabajo de investigación se utilizaron como referencia varios textos sobre el tema planteado, se determinó que la investigación será cuantitativa mediante la recolección de datos de campo apoyado también en el método de la observación para el análisis de rendimientos y pérdidas del proyecto de alcantarillado sanitario y pluvial.

La investigación realizada se ubica en la ciudad de Machala provincia del Oro Ecuador, donde se realizará el análisis de los rendimientos de la mano de obra y pérdidas generadas en el proyecto para la "Construcción del sistema de alcantarillado sanitario de la parroquia Puerto Bolívar"

En cuanto al proyecto seleccionado se realiza el análisis del rendimiento de la mano de obra en algunos rubros del proyecto, estos son actividades que se deben realizar para la construcción de la obra, lo cuales deben estar en ejecución durante el tiempo necesario para realizar esta investigación con un avance mínimo del 20% esto en base a recomendaciones que se ha revisado de diferentes fuentes bibliográficas.

Una herramienta para el diagnóstico de rubros es la carta de balance de recursos, se utiliza para analizar actividades específicas dentro del rubro seleccionado, ya que proporciona una idea más específica de procesos realizados según la mano de obra, equipos o materiales utilizados, es una herramienta usada para determinar actividades que no aportan valor al proceso constructivo y parte de principios de la filosofía Lean Construcción para el diagnóstico de pérdidas en un proyecto de construcción.

En la aplicación de la carta de balance de recursos primero se establece el rubro, este es una tarea específica a desarrollar, al cual se le realizará el análisis tomando en cuenta factores como la disponibilidad de tiempo, su incidencia en el costo del proyecto, además debe ser medible de acuerdo con la herramienta utilizada ya que para la aplicación de esta metodología se deben establecer criterios como el trabajo productivo, contributivo y no contributivo, estos tres conceptos se los identifica en el proceso constructivo del rubro, además se recomienda que sea repetitivo ya que al realizar las mediciones es conveniente y práctico.

En cuanto a las recomendaciones para realizar la carta de balance se presenta que el intervalo de tiempo para cada periodo de medición del rubro es de un minuto debido a que un mayor tiempo complica definir las actividades de cada elemento que participa en la realización del rubro, otro aspecto importante es el tiempo total de medición, para cada carta de balance establecido en cuarenta y cinco minutos en donde se realizarán cuatro mediciones por cada rubro seleccionados en diferentes días y a diferentes horarios para tener una mejor visión de los que está ocurriendo en el proyecto.

Otro aspecto importante para realizar las mediciones mediante la carta de balance es la ubicación del observador, esto porque el personal que realiza el rubro muchas veces aumenta la productividad promedio cuando se siente controlado u observado, por esto se debe realizar este proceso desde un lugar alejado donde se puede observar claramente la realización del rubro.

Se utilizó la encuesta de detección de pérdidas de dos partes, una parte correspondiente a una entrevista con preguntas abiertas y otra correspondiente a una encuesta con 43 opciones sobre actividades que generan pérdidas, para conocer la opinión del personal técnico de la obra sobre rubros y actividades perdidas en el proyecto realizado.

Con respecto a la primera parte correspondiente a la entrevista realizada se enfoca en el personal técnico de la obra involucrado en el proyecto analizado, esta se realiza para conocer la opinión que se tiene con respecto a temas de productividad o problemas que se presentan en el proyecto al igual que la carta de balance es una herramienta de diagnóstico para proyectos de ingeniería que utiliza los principios del Lean Construction y que es muy práctica al momento de su aplicación. Con respecto a la segunda parte la encuesta realizada la cual al igual que las dos herramientas anteriores parte de la filosofía del Lean Construction como una herramienta de diagnóstico para proyectos de construcción el cual se enfoca en las opiniones de los encargados de llevar a cabo el proyecto mediante una serie de opciones en donde el encuestado escoge las 10 que le parecen las más relevantes.

Las recomendaciones revisadas para aplicar estas herramientas son visitas periódicas a los lugares donde se realizan los trabajos, porque deben ser adaptadas al contexto del proyecto dando un criterio sobre cómo se están realizando los trabajos y también es importante conocer el tiempo disponible del personal de la obra, ya que en este caso se realizaron estas actividades en el tiempo de descanso del personal.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes Contextuales

En general en el sector de la construcción existe mucha competitividad por parte de entidades o personas naturales o jurídicas, al momento de realizar los proyectos de construcción propuestos por el mandante y según Ghosh & Burghart el propósito del Lean es dotar o aportar un valor adicional a proyectos de ingeniería o de otros tipos para crear empresas o grupos más competitivos [1].

La construcción crece y desarrolla sus actividades con mayor innovación tecnológica, sin embargo, el mercado no está preparado aun para asumir cambios tan repentinamente a medida que la tecnología avanza y sobre todo adaptarse a estos y llegar a beneficiarse de este conocimiento [2], aun así el sector de la construcción es muy importante en la economía mundial ya que genera muchos puestos de trabajo aunque no se apliquen nuevas metodologías para realizar los proyectos como nuevas edificaciones, rehabilitaciones, etc [3].

Productividad en la industria de la construcción

La productividad es uno de los factores críticos en los proyectos de construcción de todo el mundo y además en su investigación cualitativa en el que determino el nivel de conocimiento que se tiene acerca de la productividad e indica que una de las formas de superar el problema que existe con la productividad en los diferentes proyectos de construcción [5], otros estudios realizados mencionan que los desajustes entre el plan de trabajo y las condiciones reales en donde se realizara el trabajo influyen directamente en la productividad dentro del proyecto [6].

Dentro de América latina uno de los países con proyectos de ingeniería más eficientes es Chile debido al valor generado por la construcción chilena, donde se sondearon 100 proyectos de construcción se concluye que los atributos de estos proyectos se agrupan según siete condiciones de satisfacción: ambiente corporativo, constructibilidad, entregables, flujo de información, herramientas y tecnología, integración, cronograma y presupuesto [7].

La construcción sostenible

La construcción genera muchos desperdicios y baja productividad, por lo que esta ineficiencia causa gran impacto en el medio ambiente además según informes revisados de la Organización de Naciones Unidas un 40% de emisiones de CO₂ [8], por esto las empresas del sector tienen una tendencia favorable en la implementación de la sostenibilidad para mejorar sus puntuaciones ambientales y con esto acceder a beneficios por el cuidado del medio ambiente [9].

Brasil ocupa el cuarto puesto en el mundo con mayor número de edificios con certificaciones LEED, esta certificación es un indicador avance en temas de sostenibilidad en el sector de la construcción, además en 2014 se empezó a desarrollar una certificación para construcciones residenciales y viviendas. A este país se suma Argentina y Chile lo que muestra claros avances a políticas más sostenibles y la importancia del medio ambiente en la construcción. [10]

3.2. Antecedentes Referenciales

Qué es la filosofía Lean Construction

La aplicación de la filosofía Lean tuvo su origen en la industria automotriz por el ingeniero Taichi Ohno, la cual se la utilizaba para identificar y eliminar pérdidas en el proceso de ensamblaje de la empresa [3], luego se implementó en la construcción para hacer eficiente los procesos, a nivel del mundo se determinó que a pesar de que esta filosofía lleva tiempo aplicándose aún no se integra completamente en la construcción, sin embargo, en algunas de las empresas que la aplicaron dieron resultados satisfactorios adoptando en otra industria como en la construcción

La implementación exitosa de principios de Lean en control de calidad programada puede reducir costos, reducir la construcción y aumentar la productividad [11], además los principios de Lean ayudan a reducir el número de accidentes dentro del proyecto de construcción minimizado ya que garantiza la seguridad [12], en general la filosofía Lean pretende:

- Reducir o eliminar las pérdidas generadas por las demoras.
- Reducir o eliminar las pérdidas generadas por desperdicios.
- Mejorar la organización y la calidad de las obras para hacerlas más eficientes.
- Basada en el conocimiento de los actores que forman parte de los procesos constructivos.

Uno de los aspectos más importantes para la utilización de la filosofía Lean Construction es que sus principios presentados en la figura 1 son 100% aplicables a la industria de la construcción adecuándolos al contexto del proyecto que se esté analizando, además de las posibles herramientas que serán útiles para este proyecto [13], de estos principios el optimizar el todo y la mejora continua se pretende implementar rápidamente en la industria de la construcción para mejorar la productividad en los proyectos realizados.

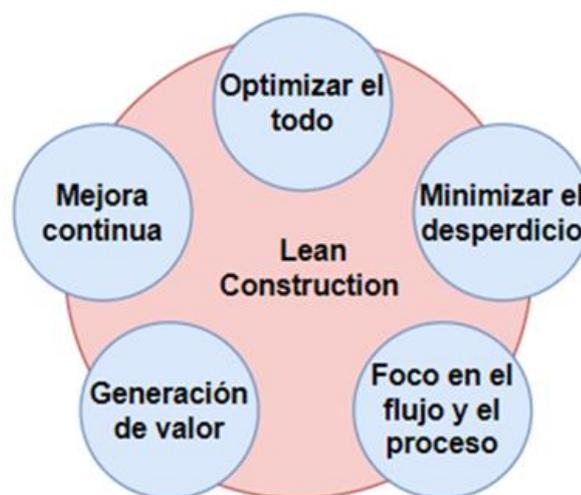


Figura 1: Principios del Lean Construction.

Comparación entre en enfoque Lean y el enfoque tradicional

Para comprender mejor este tema se presenta en la tabla 1 donde se muestran algunas características propias entre la construcción tradicional y la construcción Lean, esto para saber el motivo de estudio de la filosofía Lean y cómo se comporta respecto al enfoque de gestión de proyectos tradicional.

Tabla 1: Comparación entre el enfoque Lean y el enfoque tradicional de construcción [14].

Enfoque tradicional	Enfoque Lean
Corregir errores cuando estos se presentan en los proyectos, no se cuenta con estrategias de prevención o diagnóstico de pérdidas en el sistema	Manejar eficientemente los recursos, sin comprometer la calidad, aplicando mecanismos de control para la prevención o detección de pérdidas en el sistema de producción.
Enfocado en el costo de las actividades	Enfocado en el tiempo, costo y recursos disponibles
Aumento del trabajo para realizar actividades en el tiempo establecido.	Detección de actividades no productivas, aumento de la coordinación y reducción de desperdicios, volviendo el proceso más eficiente.

Herramientas del Lean construcción.

Dentro de las herramientas más conocidas que utiliza los principios del Lean Construction se presentan las siguientes [15]:

- 5S
- Line of Balance (LOB)
- Kanban (KAN)
- Just in Time (JIT)
- Integrated Project Delivery (IPD)

En donde una de las que más aplicaciones tiene en la industria de la construcción es el Last Planner System el cual se desarrolló durante el principio de la década de los noventa creado o desarrollados por Glenn Ballard y Greg Howell como una herramienta de planificación y costos de la producción o los procesos de producción que busca maximizar el valor de los procesos en el caso de la industria de la construcción procesos constructivos disminuyendo a si incertidumbres para alcanzar los objetivos que se ha propuesto realizar [16]

Desperdicios más comunes que se pueden encontrar en los proyectos de construcción

Los desperdicios que se pueden generar en un proyecto de construcción según varios autores son actividades las cuales no generan beneficios para la actividad, por ejemplo, el realizar nuevamente los trabajos por un error en el proceso es una pérdida de tiempo y recursos para todo el proyecto, posteriormente se muestra los desperdicios más comunes en el Lean Construction.

- Transporte
- Inventario
- Movimiento
- Espera
- Re-trabajo
- Sobre-producción
- Defectos

Productividad en la industria de la construcción

Carta de balance de recursos.

Una herramienta para analizar las pérdidas y la productividad en rubros de un proyecto es la carta balance, que permite ver lo que sucede en una actividad específica donde se debe definir aspecto como el trabajo productivo, contributivo y no contributivo, a continuación, se define brevemente cada termino.

Trabajo productivo. Actividad realizada que agrega valor directamente al proceso realizado, en la figura 2 mostrada a continuación se visualiza la excavación a máquina de zanjas para instalar tuberías, donde el trabajo productivo es excavar la zanja.



Figura 2: *Ejemplo de trabajo productivo.*

Trabajo contributivo. Las actividades necesarias para que el proceso se pueda realizar correctamente, pero que no aportan valor directamente al rubro, también se pueden definir como actividades complementarias para la realización del rubro.

Trabajo no contributivo. Se define como actividades que no agregan valor al proceso constructivo de un rubro, estas actividades son las que se requieren ajustar para mejorar la productividad, además se las puede identificar fácilmente con la ayuda de la carta de balance de recursos.

4. ANÁLISIS DE DATOS

a. Encuesta de detección de pérdidas

Con respecto a la primera parte de esta metodología correspondiente a la entrevista realizada, se consultó a los técnicos encargados del proyecto para conocer su apreciación sobre el desarrollo de este, debido a que estos conocen de primera mano estos procesos, según las preguntas abiertas realizadas las cuales se unificaron y se presentan a continuación acorde a las respuestas obtenidas.

Pregunta 1A: Problemas en el diseño de proyectos. -Según el análisis realizado los entrevistados creen que los problemas de diseño en los proyectos generan mayoritariamente retrasos en las actividades del proyecto, esto porque se debe solventar estos problemas cuando la obra ya está en ejecución por eso muchas veces se paralizan las actividades hasta resolver los problemas detectados.

Pregunta 2A: Estimaciones erróneas de rendimientos. - La mayoría de los entrevistados opina que este aspecto es muy importante en la planificación de proyectos, ya que según el sector donde se realiza el proyecto el rendimiento cambia, más aún cuando se contrata mano de obra no especializada para realizar los trabajos.

Pregunta 3A. Aquí se preguntó sobre los 5 rubros que los entrevistados consideran que generan más pérdidas en la obra para lo cual se realizó un análisis estadístico con las respuestas obtenidas, según la figura 4 donde se presentan los rubros con mayor desperdicio según el criterio de los técnicos de la obra que trabajan en el proyecto, los rubros que generan inconvenientes en el proyecto son la instalación de tuberías, las excavaciones, la reposición de acera, el desalojo de material y los rellenos compactados.



Figura 3: Rubros con más pérdidas en el proyecto.

Pregunta A4: Se cuestionó a los entrevistados cuales son los motivos para la elección de estos rubros en donde supieron contestas que el principal criterio son los problemas que ellos han tenido o han presenciado durante lo que lleva la ejecución del proyecto

Con respecto a la segunda parte que es la encuesta donde se presentan algunas opciones de actividades que generan pérdidas en el proyecto de construcción se presenta en la figura 5 los resultados obtenidos por parte del criterio de los encargados del proyecto en donde la mayor parte de los encuestados coincide que los tiempos de ocio de la mano de obra es una de las actividades que genera más pérdidas en el proyecto seguido del retraso de actividades en donde los encuestados supieron argumentar que tiene que ver mucho con las paralizaciones que se han producido en el proyecto.

Otra actividad que genera pérdidas es la mano de obra sin experiencia contratada en el proyecto, esto para ahorrar dinero en mano de obra especializada, pero que muchas veces por el desequilibrio entre el personal especializado y no especializado produce problemas como realizar los trabajos nuevamente y el bajo rendimiento, esto debido a que aprenden a realizar las actividades mediante avanza el proyecto ya que no tienen una guía que mejore sus habilidades.

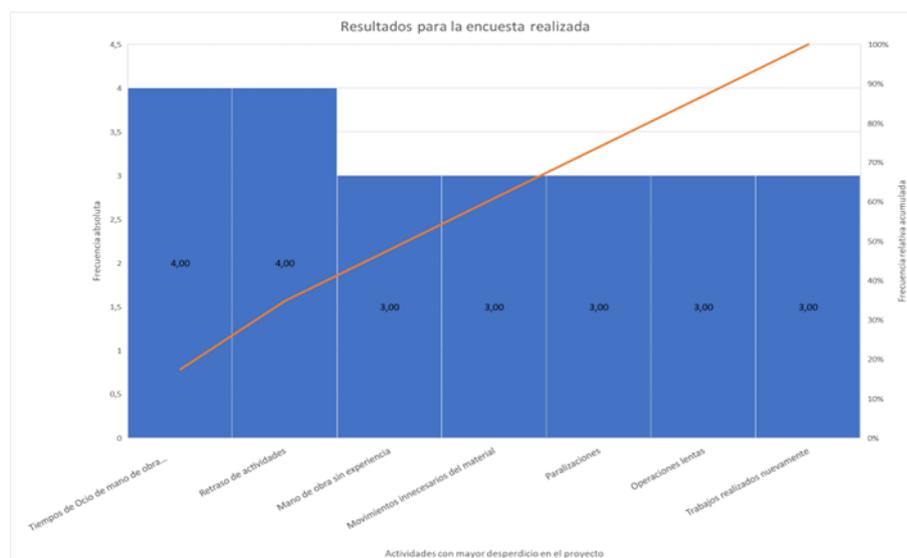


Figura 4: Actividades que generan mayores pérdidas en el proyecto.

a. CARTA DE BALANCE DE RECURSOS.

Para la carta de balance de recursos se determinó primero los rubros que se desea analizar, esto en base a los resultados de la entrevista realizada y también al costo que representa para el proyecto cada uno de los rubros seleccionados como se puede ver en la figura 5.

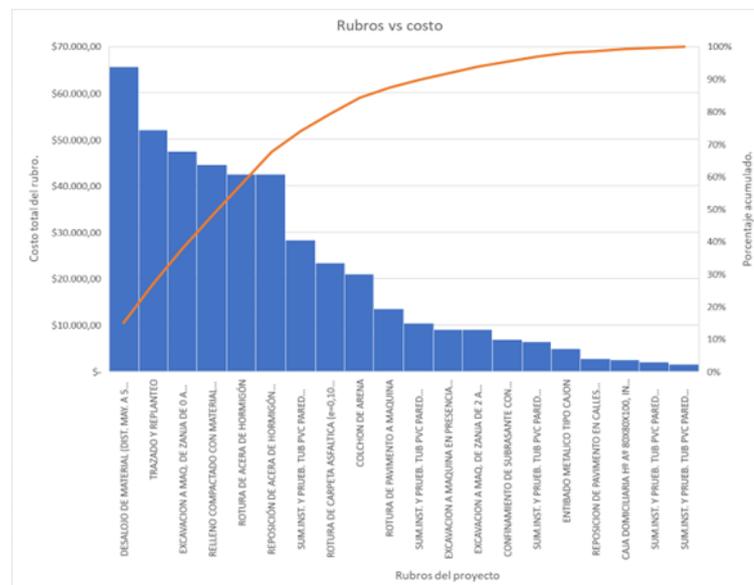


Figura 5: Rubros más costosos en el proyecto.

En donde para el proyecto la excavación a máquina de 0 a 2 metros, la reposición de acera con e=8 cm y la instalación de tubería de 200 mm son los rubros más costosos y que según la entrevista también causan problemas en el proyecto que se está analizando.

Después de definir los rubros que se analizara se debe definir un proceso constructivo para cada uno de estos ya que esto permitirá más adelante tomar algunas actividades que se enmarquen en la definición de trabajo productivo, trabajo contributivo y trabajo no contributivo.

Como se dijo en la metodología un aspecto importante durante la aplicación de esta herramienta del Lean Construction es la ubicación del observador para lo cual se presenta la figura 6 donde se realizó la medición del rubro de reposición de acera a una distancia considerable para evitar que los obreros piensen que están siendo vigilados logrando así obtener datos más realistas.



Figura 6: Ubicación del observador para el rubro reposición de acera.

Instalación de tuberías D=200 mm

De acuerdo con las 4 cartas de balance realizadas se determinó los siguientes resultados presentados en la figura 7 en donde se puede observar que para el trabajo productivo se tiene una participación del 34%, mientras que para el trabajo contributivo se tienen una participación del 30% y para el trabajo no contributivo se tiene una participación del 36%.

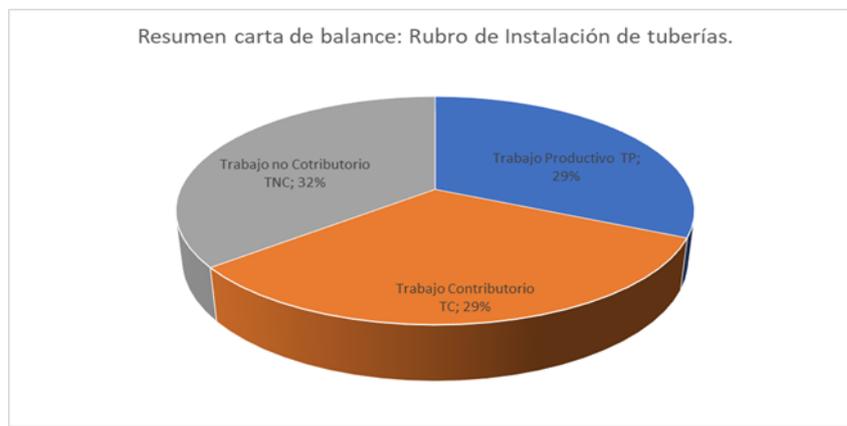


Figura 7: Participación promedio para trabajo productivo, contributivo y no contributivo.

Con respecto a las actividades que forman parte del trabajo productivo, contributivo y no contributivo se muestran los resultados en la figura 8, en donde se determinó la actividad que realiza cada uno de los elementos que ejecuta el rubro, estos son un peón, un plomero y un maestro mayor en ejecución de obras civiles durante las 4 cartas de balance realizadas.

En este caso los tres trabajadores realizan en mayor porcentaje una actividad que se denomina esperas, esta actividad depende de otra para su realización lo cual provoca que en muchas ocasiones durante la ejecución del rubro se deba esperar que otro trabajador realice su actividad y este tiempo de espera se considera como algo que no agrega valor al rubro y que se debe corregir para disminuir este tiempo o en la medida de lo posible tratar de eliminarlo.

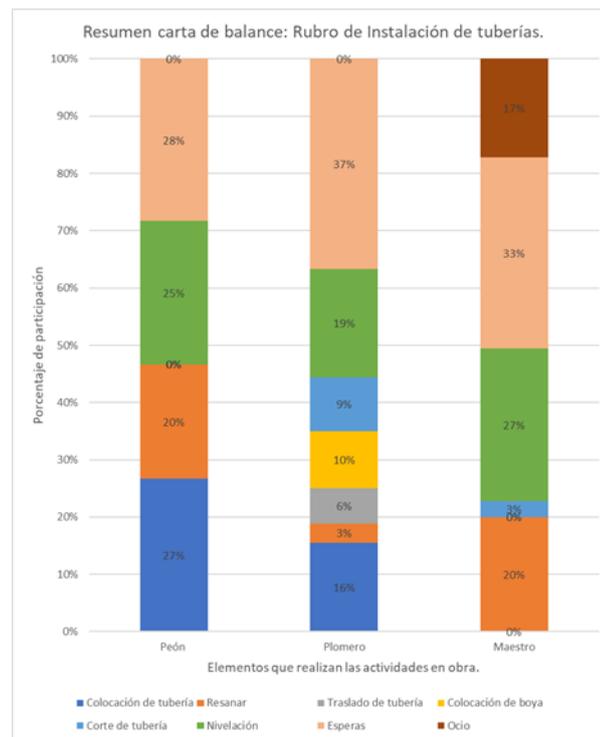


Figura 8: Participación de cada actividad realizada en función al trabajador que la realiza.

Para la categoría de trabajo no contributivo se realizó un análisis individual para el cual se tiene que la actividad más realizada son las esperas definidas anteriormente, con un 85% de participación seguido del ocio con un 15% el cual se define como actividades realizadas por los trabajadores exentas a la realización del rubro y que no generan valor agregado consideradas como pérdidas.

De acuerdo a los días que se realizó la recolección de datos se promedió un rendimiento de 0,25 Jornal/metro respecto al rendimiento real de 0,1 Jornal/metro, que en términos de costo correspondería un aumento en el costo del 11% en el precio del rubro y esto en costo monetario sería \$ 1,77 dólares más del valor teórico referencial el cual si se calcula de acuerdo a la cantidad de obra que se debería realizar 28310,54 metros con respecto al precio unitario que se presenta en la figura 9, para la instalación de tubería se obtendría un aumento en el costo del rubro de \$ 50109,66 lo cual necesita una mejor gestión del rubro ya que es una cantidad elevada.

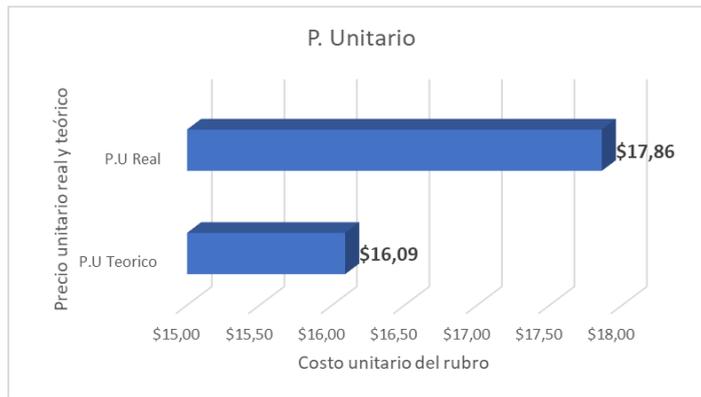


Figura 9: Costo del rubro de acuerdo con el rendimiento real y teórico.

Excavación a máquina de 0 a 2 metros.

Según el análisis realizado para las 4 cartas de balance correspondiente al rubro de excavación a máquina de 0 a 2 metros, se determinó una participación para el trabajo productivo del 26 %, mientras que para el trabajo contributivo un 32 % y para el no contributivo un 41 %, como se muestra en la figura 10, para este caso hubo tres trabajadores, dos peones y un operado de equipo pesado.

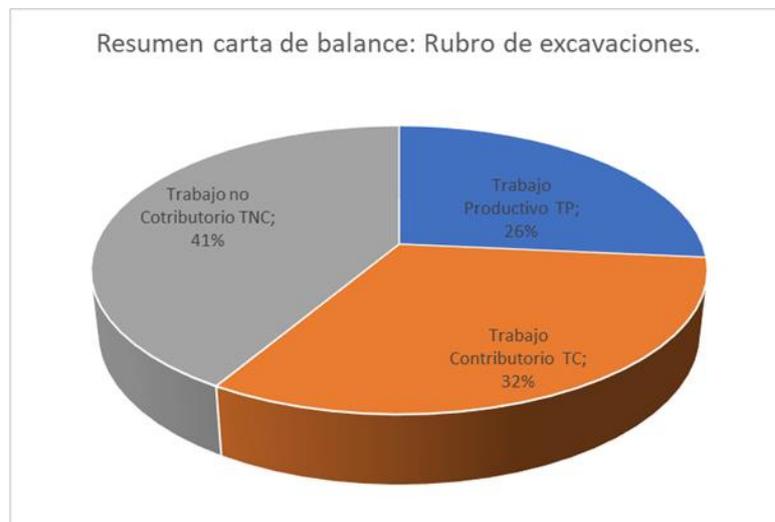


Figura 10: Participación promedio para el trabajo productivo, contributivo y no contributivo.

De acuerdo al análisis de rendimiento realizado para las 4 cartas de balance se calculó el promedio de los rendimientos obtenidos que es de 0,055 Jornal/m3 que comparados al rendimiento teórico correspondiente a 0,07 Jornal/m3 que significa una ganancia o una reducción de costos del 22 % que corresponde a \$ 0,67 dólares de ahorro en la realización del rubro y conociendo la cantidad de obra a realizar que es de 30518,45 metros cúbicos de excavación para lo cual se tiene con el precio unitario real presentado en la figura 11 de \$ 2,44 corresponde a un ahorro de \$ 20447,36 dólares si se siguiera realizando con ese rendimiento el rubro de excavaciones.



Figura 11: Costo del rubro de acuerdo con el rendimiento real y teórico.

Reposición de aceras con e=20 cm.

De acuerdo con el análisis de datos realizados para las 4 cartas de balance de reposición de aceras se determinó que el trabajo productivo tiene una participación del 64%, el trabajo contributivo tiene una participación del 39% en la realización del rubro y por último el trabajo no contributivo tiene una participación del 44%, en este caso se definió tres personas que forman parte de la realización del rubro los cuales corresponden a 2 peones y un operador.

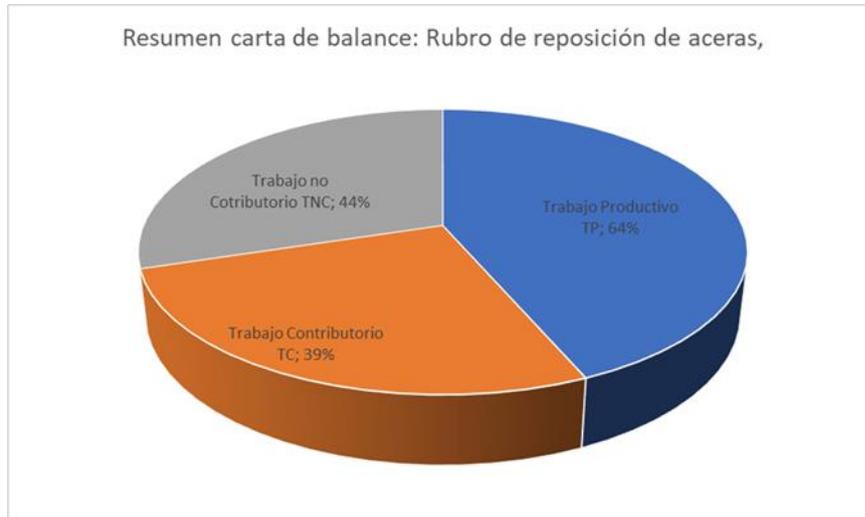


Figura 12: Participación promedio para el trabajo productivo, contributivo y no contributivo

Para este rubro se determinó un rendimiento del 0,20 Jornal/m² para 3 personas que participaban directamente en la realización del rubro y comparado con el rendimiento teórico presente en el análisis de precios unitarios del rubro de 0,07 Jornal /m² se determinó una disminución en el costo del rubro de 1% que en términos económicos corresponde a \$ 0,15 dólares de ahorro en el precio unitario y esto calculando con la cantidad de obra realizada de 42465,82 metros cuadrados de acera con el precio unitario mostrado en la figura 13 se obtiene una reducción del costo \$ 6369,87 dólares en la realización del rubro.

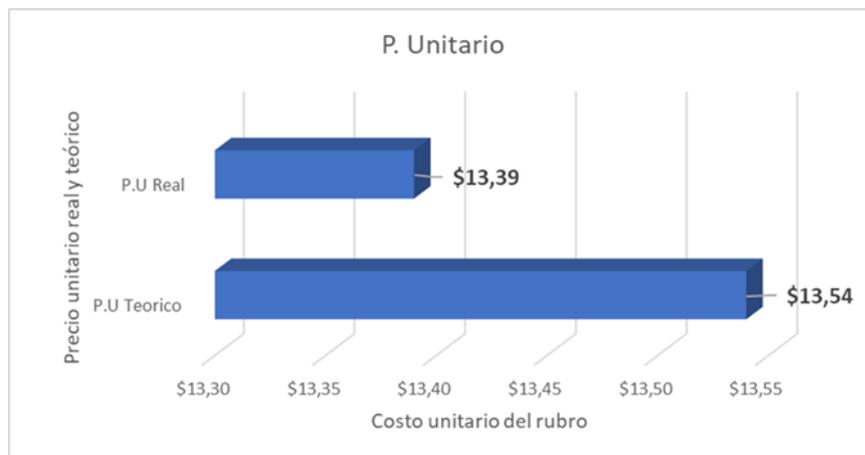


Figura 13: Costo del rubro de acuerdo con el rendimiento real y teórico.

5. CONCLUSIONES

Según el análisis realizado con la herramienta del Lean Construction denominada carta de balance se determinó que para el rubro de instalación de tuberías durante el periodo de medición del rubro se obtuvo una pérdida del 11% que en precio unitario del rubro correspondería a \$ 1,77 dólares de aumento en el costo que debido a la cantidad de obra que se debe realizar supone un aumento importante en el costo del rubro, es importante decir que este es el único rubro que presenta un aumento en el costo ya que la excavaciones y la reposición de aceras presentan una disminución en el costo, sin embargo esta disminución aun así no es suficiente para hacerle frente al sobrecosto presentado en el rubro de instalación de tuberías, aunque consultado con el encargado de la obra supo expresar que otros rubros también presentan disminución de costos y con esto se puede hacerle frente al gran aumento del costo de la instalación de tuberías.

La metodología seleccionada para este proyecto se base en un plan de mejora de la productividad de la mano de obra en proyectos de alcantarillado sanitario y pluvial, para lo que se presentan herramientas que realizan un diagnóstico de la situación actual del proyecto y que actualmente se estudian soluciones apuntando a una mejor gestión de proyectos de ingeniería para la construcción.

En cuanto a la entrevista realizada a los profesionales de la obra se puede concluir que estos consideran a la instalación de tuberías como el rubro que más pérdidas genera en el proyecto "Construcción del alcantarillado pluvial y sanitario de la parroquia Puerto Bolívar", esto según los ingenieros consultados, por un error en el cálculo del rendimiento para este rubro.

El ocio de la mano de obra especializada, resultado de la encuesta realizada a los profesionales del proyecto, al compararlo con el análisis realizado para las cartas de balance, definió que el personal técnico piensa que las esperas y el ocio de la mano de obra especializada son actividades similares, cuando en realidad no lo son.

6. RECOMENDACIONES

Mejorar la comunicación entre la empresa de agua potable y alcantarillado sanitario de la ciudad de Machala, ya que por la falta de este recurso se produjeron inconvenientes en el proyecto como paralizaciones y rotura de tuberías de agua potable, porque la empresa no proporcionaba datos confiables de dónde se encontraban estas tuberías, este problema generaba retrasos y se destinaba todo el día para reparaciones.

La capacitación de los obreros también sería viable para que se conozca las actividades de cada personal en la obra, debido a que en muchos casos se suele contratar mano de obra no calificada con el motivo de disminuir los costos de producción, sin embargo, esto se transformaba en mayor tiempo de ejecución, lo que se puede mejorar con capacitaciones constantes al personal.

Un aspecto importante comentado en el proyecto es la falta de motivación de los obreros al realizar las actividades, ya que en muchos casos solo se enfatizaba y felicitaba al maestro de obra y no a los jornaleros por realizar las actividades, lo que disminuía la motivación de estos.

Con la información presente en esta investigación se puede notar algunos problemas que se han detectado con la ayuda de la filosofía Lean Construction, y se recomienda poner en práctica la siguiente fase que es la implementación de medidas correctoras en el proyecto.

1. S. Ghosh and J. Burghart, "Lean Construction: Experience of US Contractors," *Int J Constr Educ Res*, 2019, doi: 10.1080/15578771.2019.1696902.
2. R. Maskuriy, A. Selamat, P. Maresova, O. Krejcar, and O. O. David, "Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective," *Economies*, vol. 7, no. 3. MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Jul. 04, 2019. doi: 10.3390/economies7030068.
3. A. Khaertdinova, A. Maliashova, and S. Gadelshina, "Economic development of the construction industry as a basis for sustainable development of the country," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jun. 2021. doi: 10.1051/e3sconf/202127410021.
4. J. A. Sarmiento Rojas and C. Rincón-González, "Analysis of the impact of the construction sector on the colombian economy," *Tecnura*, pp. 560–572, 2020, doi: <https://doi.org/10.14483/22487638.16194>.
5. K. Almathami, V. Coffey, and B. Trigunarysyah, "Productivity in construction industry," *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 2020, Accessed: Aug. 23, 2023. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.14455/ISEC.res.2020.7\(1\).CON-20](http://dx.doi.org/10.14455/ISEC.res.2020.7(1).CON-20)
6. L. Taufik, W. Dwi, and A. dan Pingit, "Productivity of construction project from contractor point of view," *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 2018, doi: <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v5.i12.2018.334>.
7. Z. Giménez, R. F. Herrera, and O. Sánchez, "Value generation analysis within the design process of construction projects in Chile," *Ain Shams Engineering Journal*, p. 102332, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2023.102332.
8. Ramprasad, Dave, Bhargav2, ; Zilliacus, and Patel, "Sustainability in Construction Projects: Setting and measuring impacts," *The International Association for Automation and Robotics in Construction*, pp. 722–729, 2023, doi: <https://doi.org/10.22260/ISARC2023/0100>.
9. M. Briñez and M. Penagos, "La Sostenibilidad como Estrategia Competitiva en empresas del sector Construcción del Departamento de Antioquia - Colombia," *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, vol. 23, no. 2, pp. 325–346, May 2021, doi: 10.36390/telos232.08.
10. Percy Flores, "La construcción sostenible en Latinoamérica," *Revista de Arquitectura de la Ciudad de Lima*, 2020, doi: <https://doi.org/10.26439/limaq2021.n007.5183>.
11. M. M. Uddin, "Lean construction quality assurance opportunities in highway construction," *IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, pp. 553–564, 2020, doi: <https://doi.org/10.24928/2020/0013>.
12. Y. I. Abu Aisheh, B. A. Tayeh, W. S. Alaloul, and A. Almalki, "Health and safety improvement in construction projects: a lean construction approach," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 28, no. 4, pp. 1981–1993, 2022, doi: <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1942648>.
13. G. Garcés and C. Peña, "A Review on Lean Construction for Construction Project Management," *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 38, no. 1, pp. 43–60, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.7764/ric.00051.21>.
14. C. Rodríguez, A. Gilbert, J. Buri, and K. Escobar-Segovia, "Operational losses in urbanization construction: Causes and Solutions Analysis using the philosophy of Lean Construction," *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2019-July, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.67.
15. M. Aslam, Z. Gao, and G. Smith, "Development of Lean Approaching Sustainability Tools (LAST) Matrix for Achieving Integrated Lean and Sustainable Construction," *Construction Economics and Building*, 2021, doi: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7653>.
16. M. F. Hoyos and L. F. Botero, "Evolution and global impact of the Last Planner System: a literature review," *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 36, no. 1, pp. 187–214, Jan. 2018, doi: 10.14482/inde.36.1.10946.