

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN LEAN CONSTRUCTION EN
EL PROYECTO DE MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE AGUA
POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LAS LOCALIDADES DE OCOÑA Y LOS
ANEXOS DE PUMACOTO, EL PUENTE Y CHULI DEL DISTRITO DE OCOÑA,
PROVINCIA DE CAMANÁ - AREQUIPA, 2017-2018**

Tesis presentada por el Bachiller:

Patiño Castro, Paul Martín

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Díaz Galdos, Miguel Renato

Arequipa - Perú

2020

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA CIVIL
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 06 de Octubre del 2020

Dictamen: 000668-C-EPIC-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000668, presentado por:

2011223061 - PATIÑO CASTRO PAUL MARTIN

Titulado:

APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN LEAN CONSTRUCTION EN EL PROYECTO DE MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LAS LOCALIDADES DE OCOÑA Y LOS ANEXOS DE PUMACOTO, EL PUENTE Y CHULI DEL DISTRITO DE OCOÑA, PROVINCIA DE CAMANÁ - AREQUIPA, 2017-2018

Nuestro dictamen es:

APROBADO

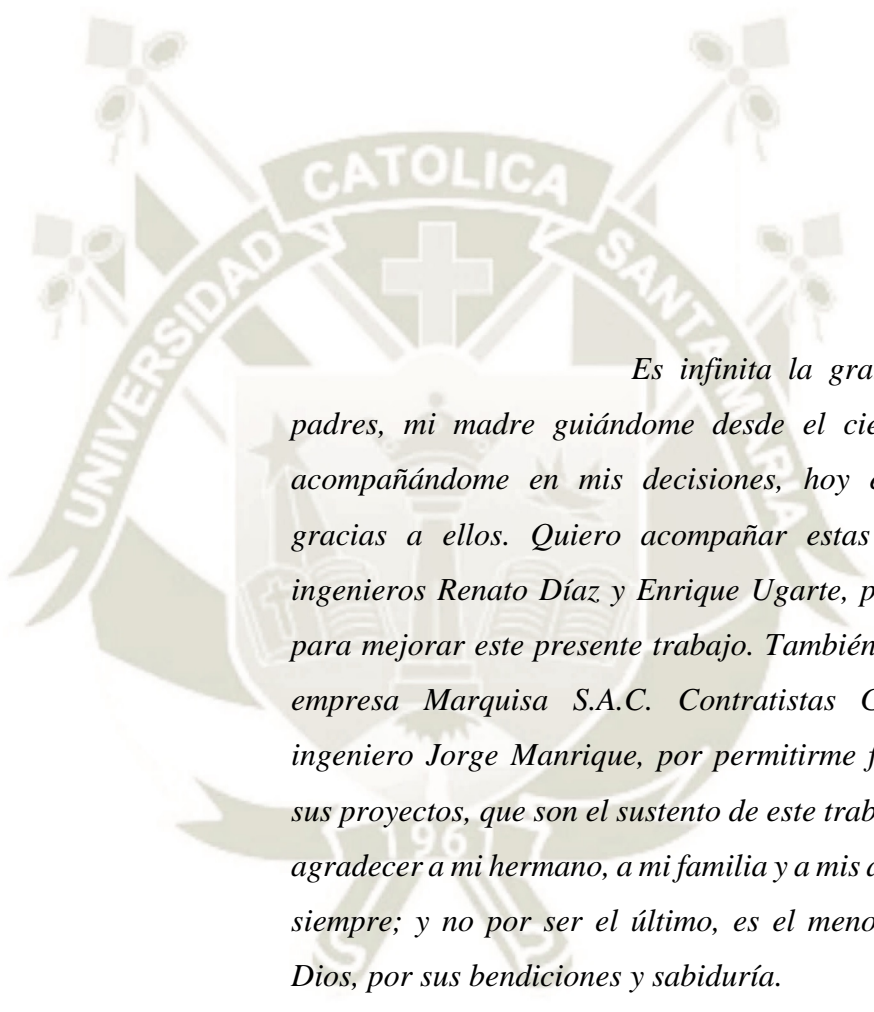
1949 - DIAZ GALDOS MIGUEL RENATO
DICTAMINADOR



2778 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO
DICTAMINADOR



Agradecimiento



Es infinita la gratitud hacia mis padres, mi madre guiándome desde el cielo y mi padre acompañándome en mis decisiones, hoy este trabajo es gracias a ellos. Quiero acompañar estas gracias a los ingenieros Renato Díaz y Enrique Ugarte, por sus consejos para mejorar este presente trabajo. También agradecer a la empresa Marquisa S.A.C. Contratistas Generales y al ingeniero Jorge Manrique, por permitirme formar parte de sus proyectos, que son el sustento de este trabajo. Por último, agradecer a mi hermano, a mi familia y a mis amigos por estar siempre; y no por ser el último, es el menos importante, a Dios, por sus bendiciones y sabiduría.

RESUMEN

La filosofía Lean Construction dio sus inicios en la década de los años 90, luego de las adecuaciones de la filosofía Lean Production en la industria de la construcción. La expansión de este sistema de planificación en el país todavía es reducida, si bien es cierto se desarrolla en las más importantes empresas constructoras de Lima con resultados muy importantes, su alcance no es el mismo en las empresas constructoras del interior del país.

El presente trabajo comprende la implementación y la aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, la ejecución y el control de un proyecto de saneamiento desarrollado en la ciudad de Camaná, Arequipa. En el avance del trabajo se describen los diferentes conceptos y las herramientas de la filosofía Lean, y con sustento de esa teoría se puede aplicar las herramientas e interpretar los resultados, producto de los procedimientos que propone el mencionado sistema de construcción. También se puntualiza en el procedimiento de las herramientas más importantes (sectorización, trenes de trabajo, Last Planner System, Nivel General de Actividades, Cartas de Balance) que se desarrollan en el proyecto, explicando su metodología para poder así generar una mayor difusión de esta filosofía a todos los involucrados en los proyectos de construcción. Por último, se analizan los resultados de la productividad conseguidos durante la ejecución de la obra y se comparan con los índices promedio de producción registrados en obras en la ciudad de Lima y en la ciudad del Cusco, y así se puede demostrar los buenos resultados que se obtienen por la aplicación de la filosofía Lean Construction.

La culminación de este trabajo consiste en reflexionar en el desarrollo y el desempeño de la filosofía Lean en el proyecto, para lograr obtener las conclusiones y las recomendaciones necesarias para poder alcanzar la implementación y la aplicación de la filosofía Lean Construction en la empresa, ejecutora del proyecto, y en las demás empresas constructoras del país, para la ejecución de sus próximos proyectos.

Palabras claves:

Lean Construction, Last Planner System, productividad

ABSTRACT

The Lean Construction philosophy began in the 90's, after the adaptations of the Lean Production philosophy in the construction industry. The expansion of this planning system in the country is still limited, although it is true that it is developed in the most important construction companies in Lima with very important results, its scope is not the same in construction companies in the interior of the country.

This work includes the implementation and application of the Lean Construction philosophy in the planning, execution and control of a sanitation project developed in the city of Camaná, Arequipa. In the progress of the work, the different concepts and tools of Lean philosophy are described, and with the support of this theory, the tools can be applied and the results interpreted, as a result of the procedures proposed by the aforementioned construction system. It is also pointed out in the procedure of the most important tools (sectorization, work trains, Last Planner System, General Level of Activities, Balance Letters) that are developed in the project, explaining its methodology in order to generate a greater dissemination of this philosophy to everyone involved in construction projects. Finally, the results of productivity achieved during the execution of the work are analyzed and compared with the average production indices registered in works in the city of Lima and in the city of Cusco, and thus the good results that they are obtained by applying the Lean Construction philosophy.

The culmination of this work consists of reflecting on the development and performance of the Lean philosophy in the project, in order to obtain the conclusions and recommendations necessary to achieve the implementation and application of the Lean Construction philosophy in the company, executor of the project, and in the other construction companies in the country, for the execution of their next projects.

Keywords:

Lean Construction, Last Planner System, productivity

ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
1. Aspectos generales.....	2
2. Justificación del tema.....	2
3. Objetivos de la investigación.....	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos.....	5
4. Metodología de estudio.....	6
5. Resultados esperados	6
5.1. En la productividad.....	6
5.2. En los plazos.....	7
5.3. En lo económico	7
6. Limitaciones.....	7
CAPITULO II MARCO TEORICO	8
1. Antecedentes históricos	9
2. Lean Production	12
3. Lean Construction.....	14
3.1. Principios del Lean Construction	14
3.2. Desperdicios en el Lean Construction.....	17
4. Lean Project Delivery System	18
4.1. Definición del proyecto	19
4.2. Diseño Lean.....	19
4.3. Suministro Lean.....	20
4.4. Ejecución Lean	21
4.5. Uso.....	21
4.6. Control de producción	22
4.7. Trabajo estructurado	22

5.	Conceptos de la filosofía Lean Construction	23
5.1.	Productividad.....	23
5.2.	Variabilidad	23
5.3.	Just in Time	24
5.4.	Curva de aprendizaje	24
5.5.	Sectorización	26
5.6.	Tren de actividades	26
5.7.	Buffers	27
5.8.	Last Planner System	28
5.9.	Teoría de restricciones.....	32
CAPITULO III DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO		34
1.	Descripción de la empresa	35
2.	Descripción del proyecto	36
3.	Herramientas aplicadas	37
CAPITULO IV APLICACIÓN DE LA FILOSOFIA LEAN EN EL PROYECTO		39
1.	Sectorización.....	40
1.1.	Programación detallada u horaria	44
2.	Tren de actividades	51
3.	Dimensionamiento de cuadrillas.....	53
4.	Last Planner	56
4.1.	Planificación maestra.....	56
4.2.	Lookahead Planning	59
4.3.	Programación semanal.....	62
4.4.	Programación diaria.....	64
5.	Análisis de restricciones	64
6.	Análisis de causa raíz.....	65
7.	Productividad	66
7.1.	Curvas de productividad.....	66
7.2.	Nivel General de Actividades.....	67
7.3.	Cartas de Balance	70
CAPITULO V RESULTADOS DE LA APLICACIÓN		73
1.	Comparación de niveles de productividad.....	74
2.	Optimización de procesos	81
3.	Porcentaje de Plan Cumplido.....	85
3.1.	Causas de incumplimiento.....	90

4. Curva de aprendizaje.....	95
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS	105
ANEXOS	108
1. Nivel General de Actividades	108
2. Cartas de Balance.....	116



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Herramientas del Lean Project Delivery System disponibles y aplicadas</i>	38
Tabla 2. <i>Detalle de actividades en línea de conducción en terreno normal</i>	42
Tabla 3. <i>Detalle de actividades en redes de agua potable en suelo no saturado</i>	43
Tabla 4. <i>Detalle de actividades en redes de alcantarillado en suelo no saturado</i>	43
Tabla 5. <i>Tiempos de actividades para el takt time en línea de conducción</i>	45
Tabla 6. <i>Tiempos de actividades para un sector en línea de conducción</i>	45
Tabla 7. <i>Programación detallada para el primer día de un sector en línea de conducción</i>	46
Tabla 8. <i>Programación detallada para el segundo día de un sector en línea de conducción</i>	47
Tabla 9. <i>Desarrollo de actividades por un día en línea de conducción</i>	48
Tabla 10. <i>Tiempos de actividades para un lote diario en redes de agua potable</i>	48
Tabla 11. <i>Desarrollo de actividades por día en redes de agua potable</i>	49
Tabla 12. <i>Tiempos de actividades para un lote diario en redes de alcantarillado</i>	50
Tabla 13. <i>Desarrollo de actividades por día en redes de alcantarillado</i>	51
Tabla 14. <i>Iteración de la mano de obra en una partida en línea de conducción</i>	54
Tabla 15. <i>Segunda iteración de la mano de obra en una partida en línea de conducción</i>	55
Tabla 16. <i>Iteración del equipo en una partida en línea de conducción</i>	56
Tabla 17. <i>Cuadro de información de los ratios de productividad de una partida de línea de conducción</i>	67
Tabla 18. <i>Resultado de la ocupación del tiempo en Chile</i>	79
Tabla 19. <i>Distribución de las actividades de la partida</i>	82
Tabla 20. <i>Trabajadores integrantes de la partida</i>	82
Tabla 21. <i>Resultados del PPC semana a semana del proyecto</i>	88
Tabla 22. <i>Listado de causas de incumplimiento del proyecto</i>	92
Tabla 23. <i>Conteo de las causas de incumplimiento de la semana 9</i>	93
Tabla 24. <i>Causas de incumplimiento del proyecto</i>	94
Tabla 25. <i>Cuadro de información de la partida excavación de zanja</i>	96
Tabla 26. <i>Cuadro de información de la partida refina, cama e instalación de tubería</i>	98
Tabla 27. <i>Cuadro de información de la partida relleno protector y relleno final</i>	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1.</i> Porcentaje de costos de proyectos en ejecución bajo monitoreo	4
<i>Gráfico 2.</i> Curvas de productividad de una partida de línea de conducción.....	67
<i>Gráfico 3.</i> Nivel General de Actividades del proyecto	76
<i>Gráfico 4.</i> Resultado de la ocupación del tiempo en cincuenta (50) obras de Lima.....	77
<i>Gráfico 5.</i> Resultado de la ocupación del tiempo en veintiséis (26) obras en Lima.....	78
<i>Gráfico 6.</i> Resultado de la ocupación del tiempo en cinco (5) obras en Cusco.....	78
<i>Gráfico 7.</i> Distribución del tiempo entre los trabajos contributorios del proyecto.....	80
<i>Gráfico 8.</i> Distribución del tiempo entre los trabajos no contributorios del proyecto.....	81
<i>Gráfico 9.</i> Resultado de la ocupación del tiempo de la partida	83
<i>Gráfico 10.</i> Resultado de la ocupación del tiempo de los trabajadores de la partida	84
<i>Gráfico 11.</i> Distribución del tiempo entre los trabajos no contributorios de la partida.....	85
<i>Gráfico 12.</i> Nivel de confiabilidad del proyecto.....	89
<i>Gráfico 13.</i> Causas de incumplimiento de la semana 9 en el proyecto	93
<i>Gráfico 14.</i> Causas de incumplimiento en el proyecto	94
<i>Gráfico 15.</i> Curvas de ratios acumulados y teóricos de la partida excavación de zanja.....	96
<i>Gráfico 16.</i> Curvas de rendimientos acumulados y teóricos de la partida excavación de zanja....	97
<i>Gráfico 17.</i> Curvas de ratios acumulados y teóricos de la partida refine, cama e instalación de tubería	98
<i>Gráfico 18.</i> Curvas de ratios acumulados y teóricos de la partida relleno protector y relleno final	99

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Adaptación de la Casa Toyota	11
<i>Figura 2.</i> Los siete (7) desperdicios de Ohno más el desperdicio del talento	13
<i>Figura 3.</i> Lean Project Delivery System, elaborado por Ballard.....	19
<i>Figura 4.</i> Curva de aprendizaje: tiempo unitario versus producción acumulada	25
<i>Figura 5.</i> Curvas de productividad en mejora, elaborado por Koskela	25
<i>Figura 6.</i> Curvas de productividad en disminución, elaborado por Koskela.....	26
<i>Figura 7.</i> La formación de las tareas en el Last Planner System, elaborado por Ballard	28
<i>Figura 8.</i> Modelo general de planificación del proyecto usando LPS, elaborado por Ballard.....	29
<i>Figura 9.</i> Cuadro resumen del Last Planner System	30
<i>Figura 10.</i> Planificación maestra, elaborado por Orihuela et al.	30
<i>Figura 11.</i> Lookahead Planning, elaborado por Orihuela et al.....	32
<i>Figura 12.</i> Organigrama de obra.....	37
<i>Figura 13.</i> Ejemplo resolutivo de cuatro sectores en el componente de redes de agua potable....	52
<i>Figura 14.</i> Programación maestra del proyecto.....	58
<i>Figura 15.</i> Lookahead Planning del proyecto.....	60
<i>Figura 16.</i> Lookahead de obra del proyecto	61
<i>Figura 17.</i> Planificación semanal del proyecto	63
<i>Figura 18.</i> Análisis de restricciones del Lookahead Planning del proyecto.....	65
<i>Figura 19.</i> Análisis de causa raíz del proyecto	66
<i>Figura 20.</i> Formato del Nivel General de Actividades del proyecto.....	69
<i>Figura 21.</i> Datos generales en el formato de carta de balance del proyecto	71
<i>Figura 22.</i> Formato de Carta Balance del proyecto.....	72
<i>Figura 23.</i> Datos generales en el formato de Nivel General de Actividades del proyecto.....	75
<i>Figura 24.</i> Análisis de confiabilidad del proyecto.....	87





CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1. Aspectos generales

El sector de la construcción en el Perú siempre será requerido ante la necesidad de nuevas infraestructuras, para el crecimiento que el país demanda en estos tiempos. Sin embargo, ante esta situación de necesidad, existen incertidumbres en el sector de la construcción, se asocia una baja producción y dudas en la mano de obra calificada para el desarrollo de los trabajos; sumando a ello, los problemas que de vez en cuando se presencian en las obras con la seguridad del trabajador ante ausencia de la misma. Por otro lado, son reales las presiones de trabajo sobre todos los grupos dentro de un proyecto sin distinción de jerarquías, todas estas situaciones generan desconfianza para el desarrollo de la construcción. De esta forma, los indicadores expuestos llevan a un inconsistente crecimiento en el sector de la construcción a pesar del crecimiento económico desarrollado en los últimos años en el Perú.

Uno de los motivos del suceso de los indicadores que se exponen se deben a una falta de planificación que va más allá de la planificación tradicional, donde los problemas se solucionan conforme se presentan en el desarrollo del proyecto. Si bien es cierto, hay situaciones adversas que se presentan de forma impensada, hay problemas durante la ejecución de las actividades que se pueden anticipar, por ejemplo, es común en las obras no tener a disposición en el terreno el material cuando llegado el momento de la ejecución de una actividad se requiera del mismo, siendo completamente pronosticado, porque se puede conocer con antelación cuando se da inicio a la ejecución de la actividad y que recursos se necesita para el desarrollo de la misma.

Un buen sistema de planificación mejora de gran manera los inconvenientes expuestos anteriormente. Durante bastante tiempo se han utilizado métodos de planificaciones tradicionales, siendo de muy buena ayuda para el desarrollo de los proyectos por muchas décadas. Sin embargo, los grandes cambios en los proyectos de construcción han ocasionado cambios en los métodos de construcción, cambios que van de la mano con el desarrollo de nuevos avances en la tecnología que modernizan el sector. Todos estos cambios han conseguido la formación de nuevos métodos de planificación, acorde a los cambios de la industria de hoy.

2. Justificación del tema

Una de las principales falencias en los proyectos de construcción, hoy en día, es el serio problema en lograr cumplir con los plazos anteriormente establecidos. La principal causa de ello radica en que los proyectos de construcción son un conjunto de especialidades que guardan relaciones entre sí, y lograr el conveniente trabajo en conjunto no es sencillo. Este problema se presenta continuamente en el sector de la construcción, y ante ello las empresas constructoras

están en la continua búsqueda de metodologías para poder contrarrestar esta situación negativa presente, lo hacen destinando recursos para la implementación de nuevas teorías y prácticas que ayuden a poder revertir esta situación. Pese al desarrollo de metodologías que contrarrestan las falencias citadas, aún existen deficiencias y en consecuencia dificultades por resolver, sino en esas circunstancias el problema del cumplimiento con los plazos dejaría de serlo y la realidad no señala eso. En consecuencia, surge la principal motivación para el desarrollo de este presente trabajo, consiste en la evaluación de la eficiencia de un método de planificación específico, el Lean Project Delivery System o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, conseguido con la aplicación de los principios de la filosofía Lean Construction, proponiendo probables mejoras al método con el propósito de tener una herramienta más potenciada y acondicionada a la realidad de la construcción en nuestro país.

El proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de las Localidades de Ocoña y los Anexos de Pumacoto, El Puente y Chuli del distrito de Ocoña, provincia de Camaná - Arequipa” es financiado por el Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR), que constituye una unidad ejecutora del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) creada en enero de 2012 y encargada de atender a las poblaciones más necesitadas del ámbito rural con servicios de agua y saneamiento integrales, de calidad y sostenibles. El MVCS contempla otra unidad ejecutora con las mismas funciones para el ámbito urbano, el Programa Nacional de Saneamiento Urbano (PNSU) llamado así desde enero de 2012, siendo anterior a este nombre, el Programa “Agua Para Todos” creado en febrero de 2007, responsable de las mismas competencias que hoy desempeñan el PNSU y PNSR. Los proyectos dentro de estas unidades ejecutoras del MVCS transitan por cuatro procesos: admisibilidad, elegibilidad, calidad y monitoreo; proceso tras proceso en ese mismo orden presentado se desarrollan los proyectos hasta lograr la conclusión de los mismos.

El proceso de monitoreo se desarrolla desde el inicio hasta el cierre del Convenio de Transferencia de Recursos Públicos entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la entidad responsable del desarrollo del proyecto, en este caso la Municipalidad Distrital de Ocoña, encargada de llevar adelante la ejecución, supervisión y monitoreo arqueológico necesarios para el desarrollo del proyecto. En ese sentido, el desarrollo del monitoreo no reemplaza las funciones ni las responsabilidades de la unidad ejecutora del proyecto sobre el mismo, básicamente el proceso de monitoreo de las unidades ejecutoras del MVCS (PNSU y PNSR) es efectuar el seguimiento a los presupuestos transferidos a las entidades responsables del proyecto y la verificación del cumplimiento de los términos de referencia de los involucrados en el proyecto.

Durante el proceso de monitoreo, los estados en los que se encuentran los proyectos son: proyectos en ejecución, proyectos paralizados, proyectos concluidos y proyectos con convenios y/o contratos resueltos. En el caso puntual del PNSR (unidad ejecutora a cargo del proyecto mencionado), con base a la información desde el año 2014, dentro de la región Arequipa se encuentran cuarenta y un (41) proyectos en el departamento de monitoreo, los cuales sus estados son los siguientes: ocho (8) proyectos en ejecución, tres (3) proyectos paralizados, veintiocho (28) proyectos concluidos y dos (2) proyectos con convenios y/o contratos resueltos. La suma de los costos de los cuarenta y un (41) proyectos asciende los S/. 175'748,353.96 y apuntando el análisis a los proyectos en ejecución, la suma de los costos de los ocho (8) proyectos asciende los S/. 54'838,852.63, figurando el 31.2% del total, representando aproximadamente la tercera parte del presupuesto. Los ocho (8) proyectos en ejecución hoy en día, tienen la situación de cinco (5) proyectos en ejecución atrasada, dos (2) proyectos en ejecución normal y un (1) proyecto en ejecución adelantada, el 62.5% de los proyectos en ejecución se encuentran atrasados y la suma de los costos de estos proyectos ascienden los S/. 41'012,124.08, representando el 74.8% de los costos de proyectos en ejecución y el 23.3% de los costos de todos los proyectos bajo monitoreo.

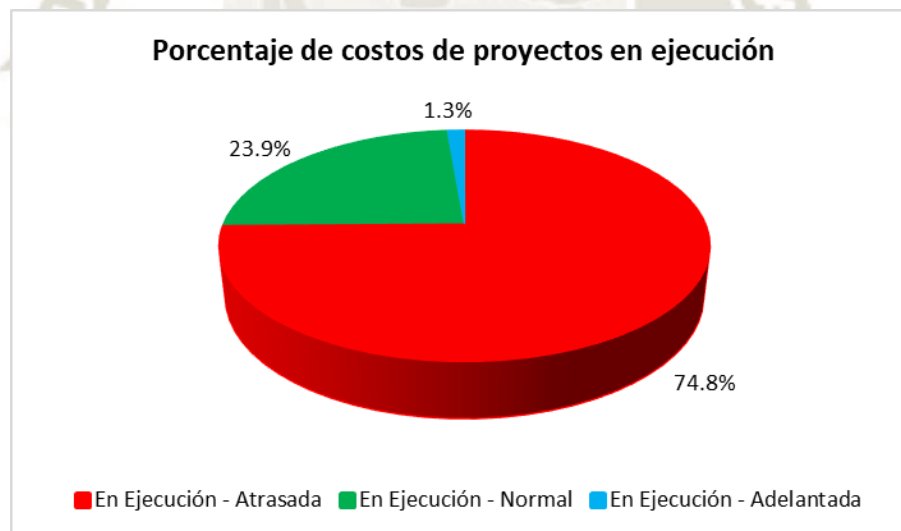


Gráfico 1. Porcentaje de costos de proyectos en ejecución bajo monitoreo (Fuente. Propia)

Los cinco (5) proyectos en ejecución atrasados denotan un porcentaje alto de recursos públicos destinados a las entidades que no están siendo manejados para los propósitos que buscan ambos programas de saneamiento, PNSU y PNSR. La dificultad que ocasiona esta posición es por una mala planificación que podría generar ampliaciones de plazo y/o adicionales de obra mal fundamentados que afectan considerablemente los proyectos de saneamiento. Por consiguiente, se manifiesta la segunda motivación para la realización de este presente trabajo, consiste en la aplicación del sistema de planificación Lean Construction en el proyecto “Mejoramiento y

Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de las Localidades de Ocoña y los Anexos de Pumacoto, El Puente y Chuli del distrito de Ocoña, provincia de Camaná - Arequipa”, mostrando resultados de parámetros de productividad propios del sector de saneamiento, con la finalidad de tener rendimientos con mano de obra y equipo acordes al desarrollo de los trabajos que hoy demandan los proyectos de saneamiento en el ámbito rural del país.

3. Objetivos de la investigación

3.1. Objetivo general

El objetivo principal de este presente trabajo es evaluar la influencia del sistema de planificación Lean Construction mediante la implementación y la aplicación del mismo en el proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de las Localidades de Ocoña y los Anexos de Pumacoto, El Puente y Chuli del distrito de Ocoña, provincia de Camaná - Arequipa”, ejecutado por la empresa MARQUISA S.A.C. Contratistas Generales, con la observación en el procedimiento de planificación, ejecución y control del proyecto bajo los lineamientos manifestados por el sistema de planificación presentado.

3.2. Objetivos específicos

- Mejorar los ratios de productividad mediante la implementación y la aplicación de la herramienta First Run Studies, es a través de la sectorización y el tren de actividades que se va desarrollar el concepto de curva de aprendizaje que permitirá obtener menores ratios de productividad.
- Determinar los niveles de productividad mediante la implementación y la aplicación de la herramienta Nivel General de Actividades, la cual mostrará los porcentajes de trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio, de esta manera poder encontrar las actividades que necesitan un mayor análisis de estudio.
- Realizar la herramienta de Cartas de Balance para poder verificar, con la interacción en campo de los recursos asignados, el dimensionamiento de cuadrillas determinado en la planificación del proyecto.
- Implementar y aplicar las herramientas del Last Planner System, como el análisis de restricciones, herramienta que ayudará a disminuir la variabilidad de ocurrencias en el proyecto y aumentará la posibilidad de cumplimiento de las tareas planificadas y programadas.
- Determinar el Porcentaje de Plan Cumplido para de esta manera poder convalidar cada una de las programaciones semanales, y desarrollar la herramienta de causas de

incumplimiento, para así tomar en cuenta las lecciones aprendidas que señalen cada uno de los incumplimientos.

4. Metodología de estudio

Los pasos a seguir para el desarrollo del presente trabajo serán los siguientes:

- ✓ Compilar información de la filosofía Lean Production, la filosofía Lean Construction y el sistema de producción Lean Project Delivery System, para tener una base conceptual sólida.
- ✓ Describir las herramientas del sistema de producción Lean Construction aplicadas en el proyecto durante la planificación, la ejecución y control del proyecto.
- ✓ Realizar mediciones de productividad a nivel general para el proyecto y en particular para las partidas, diferenciando los trabajos productivos (TP), trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC), para proceder la comparación con los registros promedios.
- ✓ Seguir el desarrollo a las programaciones semanales mediante el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC), procediendo con el análisis de causas de incumplimiento de las actividades planificadas no cumplidas, para generar luego un listado de lecciones aprendidas que posibilitarán el proceso de la mejora continua.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos tras la aplicación de las herramientas del sistema de producción y cómo repercute en la economía de la empresa.
- ✓ Concluir la influencia de la implementación y aplicación del sistema de producción Lean Construction en el proyecto y recomendar las mejoras necesarias para una mejor adecuación del sistema de producción en la construcción de nuestro país, para un mayor beneficio que permita el desarrollo adecuado del sector.

5. Resultados esperados

Con la aplicación de la filosofía Lean Construction en el proyecto de saneamiento, los resultados que se esperan de acuerdo a los siguientes aspectos son estos:

5.1. En la productividad

En referencia a la productividad, se espera con la aplicación del sistema de producción Lean Construction alcanzar resultados superiores al promedio, mediante la comparación de los rendimientos promedios usados en los proyectos de saneamiento, en mención a los rendimientos contractuales.

5.2. En los plazos

Uno de los conceptos más importantes del Lean Construction se enfoca en la planificación y en el cumplimiento de la misma, para ello se recurre a la aplicación del Last Planner System como herramienta para la planificación y control de las programaciones, por lo que se espera cumplir con los plazos establecidos de la obra. El control de las programaciones se realiza sobre las programaciones semanales con el desarrollo del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC), en el análisis de los resultados será casi imposible obtener un porcentaje de cumplimiento de 100%, pero se esperan valores superiores al 85% de cumplimiento, un porcentaje mayor en comparación a los proyectos de edificaciones.

5.3. En lo económico

En lo económico se espera conseguir buenos resultados, esto debido a las mejoras en los índices de productividad, al cumplimiento de los plazos en la obra, a la correcta asignación de recursos y a la eliminación de pérdidas en la construcción. Todos estos puntos repercuten positivamente en lo económico, y la correcta ejecución del proyecto bajo los lineamientos de la filosofía Lean Construction harán que las mejoras se conviertan en ahorros para la empresa y a su vez mejora el producto que es lo que busca el cliente; finalmente empresa y cliente estarán satisfechos con la entrega del producto final.

6. Limitaciones

En la metodología de estudio se hace mención a las fases del sistema de planificación Lean Construction involucradas en el proyecto propuesto, las fases de ejecución Lean, control de producción y trabajo estructurado son las seleccionadas para el desarrollo de la implementación y la aplicación de la filosofía mencionada en el proyecto. En el marco teórico del presente trabajo se expondrán todas las fases del sistema de gestión Lean Project Delivery System, y la limitación radica en no poder llegar a conocer la totalidad de la influencia del sistema de producción Lean Construction en un proyecto de saneamiento. Es necesario precisar que este proyecto es una obra pública, con un expediente técnico aprobado antes del proceso de licitación para la ejecución de la obra, en ese sentido la implementación y la aplicación de las demás fases y herramientas se ven restringidas por este tipo de proyectos.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

La industria de la construcción es una parte importante del sistema económico de un país, por tanto, la revisión de los nuevos sistemas de gestión de las principales industrias constructoras del mundo, es de suma importancia para mejorar la productividad del sector.

En el presente capítulo, se hace una revisión bibliográfica de las filosofías Lean, Lean Production y Lean Construction o construcción sin pérdidas. Es el Lean Construction, la filosofía enfocada en la creación de herramientas que generan valor a las actividades, fases y etapas de los proyectos de construcción.

En tal sentido, en este capítulo se hace un estudio a las principales herramientas aplicadas en la industria, destacando el modelo de gestión Lean Project Delivery System, resultado de la aplicación del Lean Construction al modelo Integrated Project Delivery, esta herramienta propone la metodología para desarrollar los proyectos de construcción bajo cinco fases que contribuyan con la generación de valor, sin choques entre el arquitecto y el constructor. Así como también, la herramienta denominada Last Planner System o Sistema del Último Planificador, que reduce los retrasos en la realización de los trabajos en la obra, mediante el control de las actividades planificadas.

1. Antecedentes históricos

La crisis del petróleo en otoño de 1973, a la que siguió una importante recesión, afectó a gobiernos, negocios y en general a la sociedad de todo el mundo. En 1974, la economía japonesa llegó a colapsarse hasta un estado de crecimiento cero; sin embargo, en Toyota, aunque se redujeron sus ganancias, se consiguió mantener ingresos frente a las demás empresas. Una década más tarde, en 1985, se originó en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, el Programa Internacional de Vehículos a Motor, con el fin de comprender las fuerzas fundamentales del cambio industrial. Los resultados de dicho estudio, revelaron que las empresas japonesas habían desarrollado un sistema productivo propio, capaz de fabricar con mayor calidad, a un menor coste y con plazos de entrega más cortos, tanto a nivel de diseño como a nivel de fabricación. El conjunto de técnicas de producción japonesas desarrolladas por la Toyota Motors fue denominado Lean Production o producción ajustada. Fue acuñado por John Krafcik a finales de la década de los 80, y difundido a nivel global durante la década de los 90 a raíz de la publicación de los libros. (Pons, 2014, p.17)

El Lean Lexicon define al Toyota Production System (TPS) como el sistema de producción desarrollado por la Toyota Motors Company para proporcionar mejor calidad, a un menor coste y con plazos de entrega más cortos mediante la eliminación de desperdicio (improductividad o

actividades que no añaden valor). El TPS está compuesto por dos pilares: el Just-in-Time (JIT)¹ y el Jidoka²; y se perfecciona a través del trabajo estandarizado y Kaizen o mejora continua, seguido de un plan de acción a través de un PDCA³. El desarrollo del TPS se le atribuye a Taiichi Ohno, jefe de producción de Toyota en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial. El TPS nació a partir de una necesidad: producción de pequeñas cantidades, de muchas variedades y en condiciones de escasa demanda, comparado con el sistema de producción en masa, que en ese momento estaba predominando en Estados Unidos. (Pons, 2014, p.16)

Según Ohno, citado en Sarria, Fonseca y Bocanegra-Herrera (2017), en la década de 1980, Toyota Motor Corporation venía trabajando en un modelo de sistema productivo para mejorar su productividad, eficiencia y ser más competitiva. Lo anterior, se logró consolidar luego de que Taiichi Ohno asumiera como vicepresidente de esta compañía. El sistema de producción propuesto por Taiichi Ohno, sentó las bases del esquema de producción JIT (justo a tiempo). El sistema de producción junto con los pilares Lean conforman lo que se conoce como la Casa Toyota, la que ha sido adaptada para una más amplia comprensión de las dimensiones que contiene.

De acuerdo con Singh y Sharma, citado en Sarria, Fonseca y Bocanegra-Herrera (2017), la base de la metodología Lean, está representada por las herramientas de diagnóstico, operativas y de seguimiento. En particular, como herramienta de diagnóstico se sugiere el mapa de flujo de valor o value stream map (VSM), donde se establecen los criterios para la construcción de un VSM actual.

Dentro de las herramientas operativas se agrupan cuatro prácticas que presentan un mayor reconocimiento. Se inicia con la herramienta 5S que puntualiza en la adopción de prácticas asociadas a la disciplina, el orden y la limpieza previas y posteriores a la ejecución de las labores. La siguiente práctica dentro de las herramientas operativas es la preparación rápida de máquinas o single-minute exchange of die (SMED), que se centra en la reducción de tiempos de alistamiento entre los procesos y las máquinas que intervienen en el sistema productivo. Otra herramienta es la práctica de mantenimiento productivo total o total productive

¹ El Just-in-Time (JIT): Creado por Kiichiro Toyoda, es un sistema de producción que fabrica y entrega justo lo que se necesita, cuándo se necesita y en la cantidad que se necesita. (Pons, 2014)

² Jidoka: Creado por Sakichi Toyoda. Este concepto japonés significa proveer a las máquinas y a los trabajadores la habilidad de detectar cuándo ocurre una condición fuera de lo normal e inmediatamente parar el trabajo para identificar la causa raíz. (Pons, 2014)

³ PDCA: Son las siglas de Plan-Do-Check-Act, también conocido como Ciclo de Deming, una vez que W. Edwards Deming introdujera el concepto en Japón en la década de los años 50. Es un ciclo de mejora continua basado en el método científico de proponer un cambio de mejora en un proceso, implementar el cambio, medir y controlar los resultados, y llevar a cabo las acciones correctoras. (Pons, 2014)

maintenance (TPM), que se orienta a la adopción de métodos y acciones para mejorar los procesos y mantenimientos del sistema de producción. Finalmente, este conjunto de herramientas operativas se cierra con el uso de etiquetas de instrucción o Kanban.

Dentro de las herramientas de seguimiento propias de Lean se determina la participación del control visual, que integrado al Kanban, permite la identificación de los cuellos de botella, entre otras características. Como adición a lo anterior, está el uso de los indicadores clave de desempeño o key performance indicator (KPI), a través de los cuales se examina el comportamiento de los procesos y los flujos del sistema productivo. (Dillon y Shingo; Wireman; Sugimori, Kusunoki, Cho y Uchikawa; Baudin citados en Sarria, Fonseca y Bocanegra-Herrera, 2017, pp.53-56)

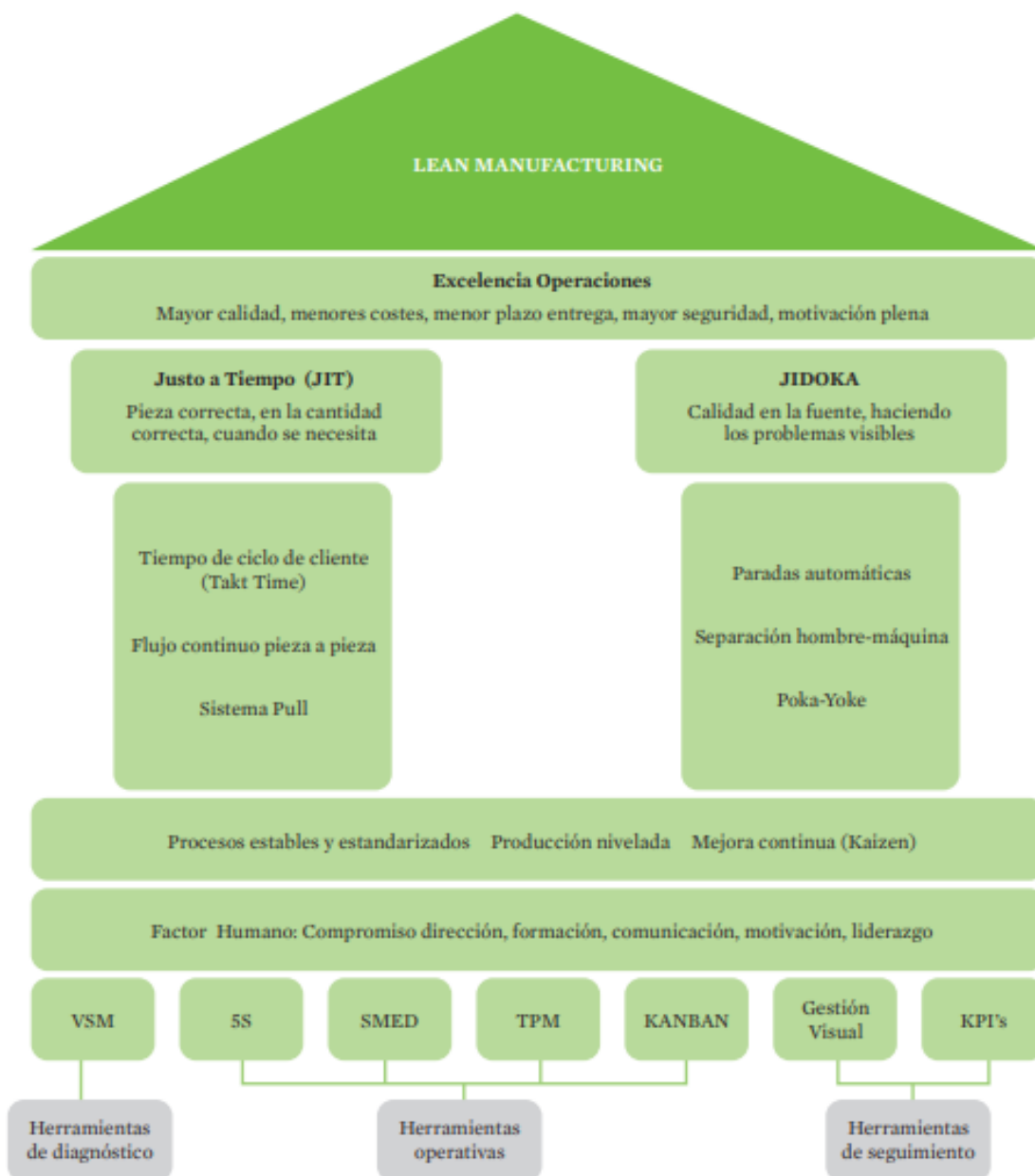


Figura 1. Adaptación de la Casa Toyota (Fuente. Hernández y Vizán, 2013, p.18)

2. Lean Production

La metodología Lean Manufacturing o Lean Production es un conjunto de principios y herramientas de gestión de la producción que busca la mejora continua, a través de minimizar el desperdicio, considerado este último como toda actividad que no agrega valor. (Pérez et al., citado en Sarria, Fonseca y Bocanegra-Herrera, 2017, p.53)

Esta metodología tuvo su origen en la Toyota Motor Corporation, que pretendía mejorar su línea de producción y se ha convertido en una alternativa que se ha aplicado en diferentes escenarios del sector industrial. Uno de los más reconocidos en el tema fue el ingeniero Taiichi Ohno, encargado de la producción de Toyota Motor Corporation, quien buscaba eliminar los residuos y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles a los clientes, sustituyendo la tradicional producción en masa por la producción a pedido del cliente y evitar, además, la acumulación de mercancía. Posteriormente, con las investigaciones realizadas a la metodología aplicada en Toyota, se desarrolló lo que se conoce como Lean Production o producción sin pérdidas, que comprende una gran variedad de sistemas de producción que comparten el principio de minimización de pérdidas. (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014, p.34)

La filosofía Lean Production, permitió organizar y gestionar el desarrollo de productos, las operaciones y las relaciones con clientes y proveedores, que requiere menos esfuerzo humano, menos espacio, menos capital y menos tiempo para fabricar productos con menos defectos, según los deseos precisos del cliente. (Womack, Jones y Ross citado en Pons, 2014, p.15)

La filosofía Lean, exige por parte de todos los empleados de la cadena o flujo de valor que haya una atención continua para mantener el flujo y eliminar el desperdicio. Para lo cual es importante la transparencia, es decir, se debe entregar a los empleados la información correcta y puntual. Además, para solucionar problemas en pro de la mejora continua, todos los empleados deben estar comprometidos y capacitados para atender las demandas de los clientes, crear más valor, eliminar el desperdicio e incrementar la rentabilidad del negocio. Cuando los trabajadores capacitados trabajan de manera colaborativa con sus compañeros a través de toda la cadena de valor, se crea una mejora radical. (Pons, 2014, p.23)

Adicionalmente a la transparencia y la capacitación antes mencionadas, el pensamiento Lean, se rige bajo cinco principios básicos que fueron definidos por Womack y Jones en 1996.

- Valor
- Value Stream (cadena de valor o flujo de valor)
- Flujo
- Sistema Pull

- Perfección

Según la filosofía Lean, todo lo que no es valor para el cliente es muda o desperdicio que puede ser eliminado o minimizado. La muda es una palabra japonesa que significa desperdicio, en el sentido de toda aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor. Taiichi Ohno descubrió que en una empresa u organización la mayor parte de las actividades que se realizan no añaden valor neto al producto o servicio final que se entrega al cliente, y por lo tanto son susceptibles de mejorar o eliminar. (Pons, 2014, p.18)

Taiichi Ohno clasificó los siete desperdicios que causaban la mayor parte de las interrupciones del flujo dentro de la cadena o flujo de valor. La siguiente figura muestra los siete desperdicios de Ohno más el desperdicio del talento y la falta de creatividad, según fue definido por Jeffrey Liker. (Pons, 2014, p.19)

SOBREPRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de cantidades más grandes que las requeridas o más pronto de lo necesario, equipamiento altamente sofisticado e innecesario, más calidad de la esperada
ESPERAS O TIEMPO DE INACTIVIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de datos, especificaciones, planos, materiales, equipos, personal; falta de coordinación entre las cuadrillas, repetición del trabajo; accidentes por falta de seguridad
TRANSPORTE INNECESARIO	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento interno de los recursos en la obra, con consecuencias en pérdida de horas de trabajo, de energía, de espacio en la obra y de material
SOBREPROCESAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos adicionales en la construcción o instalación, provocando el uso excesivo de materia prima, equipos, energía, etc.
EXCESO DE INVENTARIO	<ul style="list-style-type: none"> • Inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo que conducen a pérdidas de material, personal adicional y costes financieros por una compra anticipada
MOVIMIENTOS INNECESARIOS	<ul style="list-style-type: none"> • Realizados por la utilización de equipo inadecuado, procedimientos de trabajo ineficaces, falta de estandarización; provocando pérdida de tiempo y bajas laborales
DEFECTOS DE CALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de métodos de trabajo incorrectos, mano de obra poco cualificada; con consecuencias en la repetición del trabajo y la insatisfacción del cliente
TALENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de tiempo, ideas, aptitudes, mejoras por no motivar o escuchar a los empleados y por tener una mano de obra poco cualificada, poco formada, mal informada y con falta de estímulos y recursos

Figura 2. Los siete (7) desperdicios de Ohno más el desperdicio del talento (Fuente. Propia)

3. Lean Construction

Según el Lean Construction Institute, Lean Construction (LC) es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción, y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los desperdicios. (Porras, Sánchez y Galvis, 2014, p.35)

Lean Construction es una metodología orientada a eliminar los desperdicios en la industria de la construcción, que abarca desde la etapa de planificación hasta la ejecución y cuenta con múltiples herramientas para tal efecto. La visión que adopta el LC es sistémica, busca alinear el trabajo de todas las partes y procesos involucrados en un proyecto de construcción hacia un objetivo común, que el mismo termine con la menor cantidad de pérdidas posibles y con una alta generación de valor hacia el cliente. La implicación de todas las partes en acción (proveedores, contratistas, gerencia, trabajadores, supervisores) es importante para generar sinergia. (Ordoñez, 2015, p.24)

Lauri Koskela, en 1992, propuso que la producción en la construcción se conceptualice como un proceso de transformación de flujo y generador de valor. Siendo su objetivo el fortalecimiento de los sistemas de producción en la construcción que posibiliten reducir o eliminar las pérdidas, para así mejorar los tiempos de entrega de las obras. El principio del Lean Construction, es la generación de valor en todas las actividades del proyecto, eliminando todo lo que produce pérdidas a nivel de ejecución de obra. (Porras, Sánchez y Galvis, 2014, p.38)

3.1. Principios del Lean Construction

Para la implementación del Lean Construction en los proyectos, es necesario iniciar con el compromiso de tener una cultura de mejora continua de la producción, para que al aplicar los principios Lean, mejore la seguridad, la calidad y la eficiencia del proyecto.

En la industria de la construcción, estos principios Lean, son posibles de aplicar eficazmente, solo si el interesado en aplicarlos se centra en la mejora de todo el proceso de gestión del proyecto. La filosofía Lean Construction interviene para tratar de eliminar todas las actividades que provoquen pérdidas, y obtener mejores rendimientos de las actividades que sí le generan valor al proyecto, mediante la implementación de una cadena de valor en donde, principalmente, se identifican y distinguen unas actividades de otras, con el fin de disminuir

costos y cumplir plazos de entrega antes de los tiempos estimados. (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014, p.38)

Lauri Koskela propone once principios:

i. Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor

Este principio considera la eliminación de todas las actividades innecesarias que no atribuyen valor a la construcción. Por ejemplo: la reducción de desperdicios del proceso, la eliminación de actividades innecesarias y la optimización de actividades auxiliares, como el transporte o la inspección. (Gutiérrez, 2011, párr.3)

ii. Incremento del valor del producto

Este principio considera la generación de valor, desde el punto de vista del cliente tanto interno como externo. De esta forma, debe ser conocido lo que el cliente valora para garantizar su satisfacción. Por ejemplo: en el proyecto deben existir requisitos y preferencias de los clientes finales, obtenidos de una investigación de mercado y/o una evaluación postventa. (Gutiérrez, 2011, párr.4)

iii. Reducción de la variabilidad

Este principio considera que en la construcción la variabilidad y la incertidumbre son elevadas. Gran parte de esta variabilidad puede ser eliminada mediante la estandarización de las actividades, implementando procedimientos estándares para reducir la variabilidad en la conversión y el flujo. Por ejemplo: la compra de materiales de acabados de un solo proveedor, para evitar diferencias de tonalidades en los acabados, reduciendo así la variabilidad del proveedor; o la estandarización de los procesos, lo que facilita la programación y el control de tareas, evitando la variabilidad de insumos por tareas no estandarizadas. (Ramos, 2014, p.28)

iv. Reducción del tiempo del ciclo

Este principio considera la optimización de los tiempos involucrados en la obra, relacionados con transportes necesarios, inspección obligatoria, calidad de proceso y una mayor reducción de tiempos improductivos. Por ejemplo: una forma de reducir el tiempo de ciclo sería estandarizar el proceso productivo, con el fin de disminuir las actividades que no agregan valor y optimizar tiempos auxiliares. (Gutiérrez, 2011, párr.6)

v. Simplificación de proceso

Este principio implica simplificar o reducir el número de actividades en un proceso involucrado en la obra. La simplificación puede realizarse: eliminando las actividades que no añaden valor del flujo productivo; reduciendo los componentes del producto a través de cambios en el diseño o partes prefabricadas; estandarizando partes, materiales, herramientas, etc.; desacoplando

eslabonamientos; minimizando la cantidad de información de control necesitada. (Ramos, 2014, p.30)

vi. Incremento de la flexibilidad de la producción

En este principio, la flexibilidad de la producción, considera la mejora de las características del producto entregado a los clientes, sin aumentar el costo de estos. (Gutiérrez, 2011, párr.8) Para incrementar la flexibilidad, se puede: minimizar los tamaños de lote (una mayor sectorización) para atender la demanda, personalizar el producto al final del proceso, entrenar a trabajadores para que desarrollen habilidades que les permitan realizar más tareas. (Ramos, 2014, p.34)

vii. Transparencia del proceso

Este principio implica hacer el proceso productivo, transparente y observable para facilitar el control y la mejora; es decir el flujo principal de las operaciones debe ser visible desde el inicio hasta el fin para todos los trabajadores del proyecto. Esto se puede lograr haciendo el proceso directamente observable a través de medios organizacionales o físicos, mediciones y con la publicación de información pertinente. Aumentar la transparencia significa retirar los obstáculos del camino, dejando informaciones visibles, utilizando las herramientas y los controles visuales en la obra. Por ejemplo: remoción de obstáculos, como cercos y divisiones o compartimientos; la utilización de carteles, señalizaciones luminosas, demarcación de áreas, etc. (Ramos, 2014, p.35)

viii. Enfoque del control al proceso completo

Este principio implica conocer el proceso en su totalidad para hacer posible el reconocimiento de los resultados globales de la empresa y probar con soluciones más eficaces. (Gutiérrez, 2011, párr.10) Por ejemplo: el costo de la albañilería puede reducirse significativamente, si hay un esfuerzo conjunto de proveedor - servidor - cliente, introduciendo tarimas para una reducción del costo de carga y descarga, entrega del ladrillo justo a tiempo o inventario cero. (Ramos, 2014, p.39)

ix. Mejoramiento continuo del proceso

Este principio implica el esfuerzo para reducir los desperdicios y agregar valor al proceso. La meta es eliminar la raíz de los problemas para disminuir sus posibles efectos. Por ejemplo: eliminación de inventarios o reducción de tiempo del ciclo, realización de capacitaciones en obra, introducción de nuevos equipamientos y motivación a los trabajadores para sugerir mejoras al proceso. (Ramos, 2014, p.41)

x. Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión

Este principio considera que, en la construcción, el potencial para el mejoramiento del flujo es mayor que el mejoramiento de la conversión. El punto crucial es que el mejoramiento del flujo

y la conversión estén íntimamente relacionados. Los mejores flujos requieren menor capacidad de conversión y por lo tanto menor inversión de equipamiento. Mayores flujos controlados hacen más fácil la implementación de nuevas tecnologías de conversión. Nuevas tecnologías de conversión podrían ocasionar variabilidades más pequeñas, y así flujos más beneficiosos; es necesario actuar en ambos frentes, flujos y conversiones. La mejora en el flujo requiere liderazgo de la gerencia en la conducción de acciones internas, y la mejora en la conversión requiere una visión del ambiente fuera de la empresa, tratando de obtener nueva tecnología que se adapten a su realidad e innovar los procesos actuales y obtener resultados más satisfactorios. (Ramos, 2014, p.45)

xi. Referenciación

Este principio, también llamado Benchmark, consiste en realizar continuamente un proceso de comparación de la manera en que se desenvuelve la empresa en general y el proyecto específico, con el fin de identificar las mejores prácticas desarrolladas por el mercado. Su aplicación implica: conocer los propios procesos de la empresa, identificar las buenas prácticas en otras empresas similares, entender los principios de estas buenas prácticas y adaptar las buenas prácticas a la realidad de la empresa. Por ejemplo: la introducción de procedimientos para ejecutar losas de concreto, la introducción de sistemas de formas con estructura metálica, la introducción de rutinas de mapeo de riesgos en la obra. (Ramos, 2014, p.47)

3.2. Desperdicios en el Lean Construction

La metodología Lean Construction, incluye un conjunto de herramientas que permiten identificar y eliminar los desperdicios o mudas en el flujo de producción, con el fin de mejorar la calidad y la productividad. Dentro de este sistema se identifican siete tipos de desperdicios:

- Sobreproducción: hacer más de lo que el cliente ha solicitado,
- Inventario excesivo: más producto disponible de lo que el cliente necesita,
- Transporte innecesario: mover el producto más de lo necesario,
- Espera: cualquier momento en el que el valor no puede ser agregado por causa del retraso,
- Movimiento no útil de personas: cualquier movimiento extra del operador cuando se está realizando una secuencia de trabajo,
- Sobreprocesamiento: agregar más cosas al producto de las que el cliente pidió, y
- Corrección: cualquier cosa no hecha bien a la primera que requiera repetir las tareas o inspecciones. (Ordoñez, 2015, p.24)

4. Lean Project Delivery System

La filosofía integral de Lean Construction se concreta con el modelo de gestión Lean Project Delivery System (LPDS) o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, cuya misión es desarrollar el mejor camino posible para diseñar y construir infraestructuras. El LPDS desarrollado por Glenn Ballard, abarca todo el ciclo de vida de los proyectos, desde el inicio hasta la entrega, utilizando conceptos y técnicas destinadas a maximizar el valor para el cliente y minimizar las pérdidas en la producción. (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014, p.38)

Las características fundamentales del LPDS expuestas por Alarcón, citado en Ordoñez (2015), son:

- ❖ El proyecto se organiza y gestiona a modo de un proceso generador de valor.
- ❖ Los agentes que actúan a posteriori se involucran también en la planificación inicial y en el diseño a través de equipos multifuncionales.
- ❖ El control de proyecto tiene una función ejecutiva, diferente a la clásica detección a posteriori.
- ❖ La optimización de esfuerzos se centra en conseguir un flujo de trabajo fiable, en contraste con el incremento de la productividad.
- ❖ Las técnicas pull (de empuje) se utilizan para manejar el flujo de información y materiales por medio de redes de especialistas.
- ❖ Los resguardos de capacidad y de almacén se utilizan para absorber variaciones.
- ❖ Los ciclos de retroalimentación se incorporan en cada nivel, de modo que se puedan realizar ajustes rápidos. (p.26)

La herramienta LPDS se define como un proceso colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de este. Se emplea un equipo en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones. Se trata de un enfoque por fases que comprende la definición del proyecto, el diseño Lean, el suministro Lean, la ejecución Lean, el uso y posterior mantenimiento del edificio, instalaciones o infraestructura. (Pons, 2014, p.39)

El control de producción, la estructuración del trabajo y el aprendizaje es algo que ocurre continuamente a lo largo de todo proyecto, y cada fase contiene actividades e hitos que deben cumplirse a medida que este avanza. El propietario o cliente determina el coste del proyecto. La misión del equipo es entender y ofrecer el mejor valor para el cliente y eliminar todas las actividades que no añaden valor. (Ordoñez, 2015, p.26)

Las fases de un proyecto según el LPDS se pueden visualizar en la siguiente figura, en la misma se puede observar las cinco fases del Lean Project Delivery System, elaborado por Ballard en el 2008.

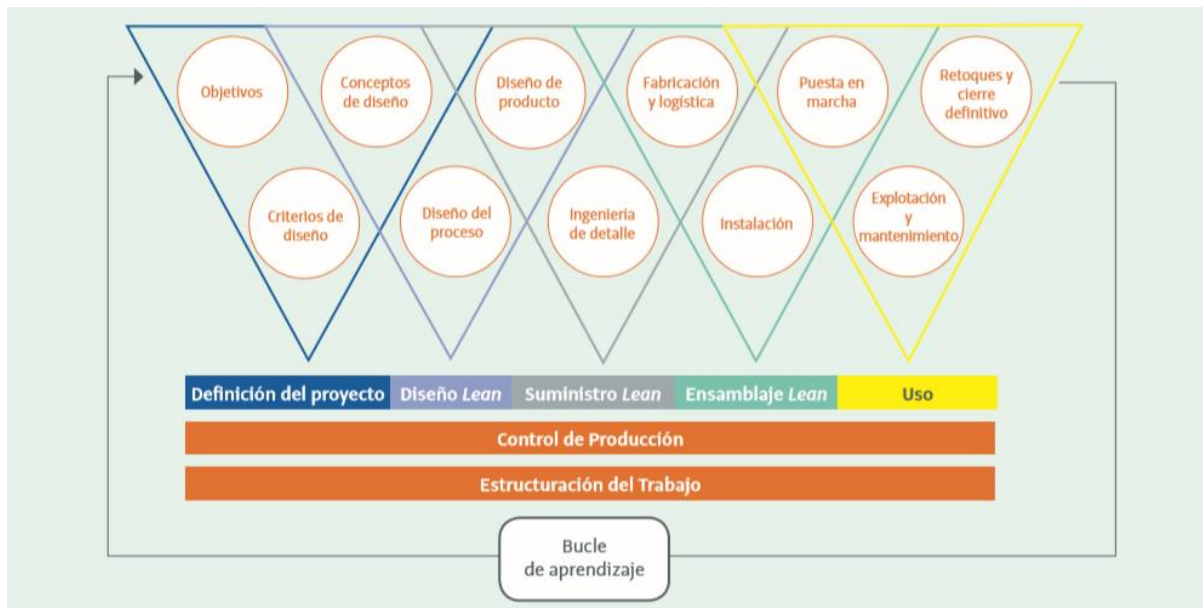


Figura 3. Lean Project Delivery System, elaborado por Ballard (Fuente. Pons, 2014, p.39)

4.1. Definición del proyecto

La definición del proyecto es la primera fase del LPDS, donde se realiza la determinación de las necesidades y valores del cliente; el análisis de las restricciones para definir el proyecto, llamada también criterios de diseño; y la selección de la menor alternativa de diseño conceptual.

Esta etapa se realiza involucrando a todas las partes interesadas, es decir, los inversionistas, los arquitectos, los ingenieros, los constructores, los promotores, y el usuario final. Además, se tienen a las entidades gubernamentales, que dictan los reglamentos y normas, y por último se encuentra el equipo de diseño. La fase de definición del proyecto se encuentra a cargo del propietario y el gerente del proyecto, el cual deberá consultar al equipo de diseño y tomar las decisiones, juntas con los demás involucrados en el proyecto. (Castillo, 2014, p.20)

La fase de definición del proyecto incluye las propuestas y valores del cliente, y las partes interesadas. Es necesario realizar reuniones entre los diferentes actores del proyecto, para alcanzar una mejor comprensión de los objetivos y valores que motivan a cada uno, y lograr una alineación de objetivos, valores y criterios. Los actores involucrados, deben mostrar una participación continua durante todo el ciclo de vida del proyecto. (Pons, 2014, p.35)

4.2. Diseño Lean

El diseño Lean es la segunda fase del LPDS, en esta fase, se crean múltiples alternativas que responden a requisitos de diseño, limitaciones del proyecto y los costes objetivos definidos en la anterior fase. Se busca encontrar la mejor alternativa de diseño que entregue el máximo valor al cliente. (Ordoñez, 2015, p.26)

Tiene tres etapas que interactúan entre sí: el diseño de procesos, el diseño de productos y los conceptos de diseño. En esta fase se desarrolla el diseño conceptual del producto que se planteó durante la definición del proyecto, con el fin de obtener el diseño definitivo y al mismo tiempo, establecer el proceso constructivo que se plantea en la etapa de diseño, todo esto verificando las necesidades del cliente y optimizando al máximo los recursos. En el control de la producción del diseño Lean se usa la herramienta del Sistema del Último Planificador, y también herramientas informáticas como el diseño 3D. (Porras, Sánchez y Galvis, 2014, p.47) Según Castillo (2014), los objetivos de la fase de diseño son los siguientes:

- ❖ Controlar los objetivos de tiempo y costo del proyecto, y la meta de reducir las pérdidas sin disminuir el valor,
- ❖ Diseño final del proyecto,
- ❖ Capturar y hacer accesible el diseño de las instalaciones, y
- ❖ Minimizar la pérdida de valor mediante el transcurso de las fases del proyecto. (p.34)

Ballard, citado en Castillo (2014), propone los siguientes procesos para el diseño Lean:

- ✓ Organizarse en equipos multidisciplinarios que serán encargados de diseñar el proceso y el producto.
- ✓ Seguir una estrategia basada en múltiples alternativas con el fin de estudiar diferentes opciones y escoger la más adecuada.
- ✓ Estructurar el trabajo de diseño del proyecto buscando asegurar las metas de transformación, flujo y valor.
- ✓ Minimizar o eliminar iteraciones negativas a fin de evitar pérdidas.
- ✓ Usar el Sistema del Último Planificador para el control de producción. En la fase de diseño, el rol del último planificador se encontrará a cargo del coordinador del proyecto o jefe del equipo, puesto que será esta persona el encargado de asignar las actividades a los responsables.
- ✓ Usar tecnologías que faciliten el diseño. (p.35)

4.3. Suministro Lean

El abastecimiento Lean es la tercera fase del LPDS, y está compuesto por: ingeniería de detalle, fabricación y entrega. El trabajo con los proveedores en este punto es vital, para la entrega de los materiales en cantidad y fechas justo a tiempo. Los flujos de trabajo estables creados bajo este sistema permitirán eliminar muchos tipos de desperdicio como el exceso de inventario de materiales. (Ordoñez, 2015, p.26)

Esta fase tiene por objetivo, asegurar la entrega de información y materiales en el proyecto en el tiempo establecido, al menor costo y al máximo valor para el cliente final. La falta de materiales en la obra es una de las causas más frecuentes de retrasos.

La gestión de la cadena de suministro, involucra un trabajo colaborativo entre los miembros del proyecto, en el manejo de información y flujo de dinero para alcanzar las metas deseadas como: reducción del costo total, reducción de plazos de entrega y generación de valor al cliente. En tal sentido, la logística genera valor dentro de la cadena de suministro, ya que, garantiza el suministro, el almacenamiento y la distribución de los recursos en los frentes de trabajo; así mismo se encarga de la estimación de las cantidades de los recursos a usar y de la gestión de los flujos físicos de producción. (Castillo, 2014, p.50)

4.4. Ejecución Lean

Esta fase comienza con la entrega de información, materiales, mano de obra, herramientas y otros componentes necesarios para construir, y finaliza una vez que la obra ha sido entregada. En esta etapa el Sistema del Último Planificador se utiliza para controlar el avance de la construcción, el flujo de materiales y la información, siempre bajo el sistema Lean, que no trabaja con acumulación de inventarios y hace un exhaustivo control de calidad en las etapas de construcción. (Ordoñez, 2015, p.26)

Esta fase está conformada por los módulos de: fabricación y logística, instalación, y pruebas y entrega. En cuanto a la fabricación y logística, este módulo fue explicado en la fase de suministro Lean. En tanto, el módulo de instalación, consiste en los procedimientos constructivos que se realizarán en obra para poder obtener el producto final. Y el módulo de pruebas y entrega, consiste en la entrega del producto al cliente, además de los diferentes procedimientos formales (pruebas) para asegurar que el producto final se ajuste a las necesidades del cliente. Por lo general, estas pruebas consisten en la conformidad entre el producto con el diseño, y la preparación del cliente para el manejo de los diferentes sistemas del producto (instalaciones). (Castillo, 2014, p.66)

Las técnicas usadas dentro de la fase de ensamblaje o ejecución buscan: reducir las pérdidas durante la construcción del proyecto, mejorar la calidad del producto, mejorar la productividad de la mano de obra y agregar valor al cliente. (Castillo, 2014, p.66)

4.5. Uso

Esta fase comprende los módulos de: pruebas y entrega, operaciones y mantenimiento, y alteraciones. Esta fase consiste en la entrega del producto al cliente final, luego de haber

realizado las pruebas para certificar la calidad del producto. Además, implica trabajos de mantenimiento y modificaciones que podrían ocurrir en el producto.

El módulo de operaciones y mantenimiento consiste en trasladar la responsabilidad del proyecto al usuario, además, en este módulo se derivan todos los trabajos que se deben realizar para levantar las observaciones realizadas por el cliente sobre el producto entregado. El módulo de alteraciones consiste en los cambios que se deseen realizar luego de haber entregado el producto final al cliente. (Castillo, 2014, p.84)

Las principales funciones de esta área son:

- ❖ Entregar el producto a tiempo a los clientes,
- ❖ Atender los reclamos o dudas de los clientes,
- ❖ Comprometerse con los clientes a levantar las observaciones dadas en el menor plazo posible,
- ❖ Realizar estadísticas como: número de reclamos por proyecto, tiempo promedio de solución de reclamos, costo de la solución de reclamos, entre otros, y
- ❖ Gestión de lecciones aprendidas. (Castillo, 2014, p.85)

4.6. Control de producción

La fase de control de producción regula la ejecución de los planes a lo largo de todo el proyecto. Tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo y la unidad de producción, asegurando que el trabajo planeado sea igual al trabajo ejecutado. Esta fase recorre todas las fases del proyecto desde la definición hasta el uso del producto. El control de la producción en la filosofía Lean se basa en el Last Planner System, y busca evitar diferencias entre lo que se planifica y lo realmente ejecutado. (Castillo, 2014, p.93)

4.7. Trabajo estructurado

Según Howell y Ballard, citados en Castillo (2014), la fase de trabajo estructurado en el proceso LPDS, significa desarrollar el proceso de diseño de un proyecto tratando de alinear: el diseño de ingeniería, la cadena de suministro, la asignación de recursos y los esfuerzos de montaje. Es decir, el trabajo estructurado es hacer el flujo de trabajo más confiable y más rápido, mientras se genera valor para el cliente. Los principales objetivos de esta fase son:

- ❖ Minimizar y manejar la variabilidad,
- ❖ Integrar el diseño del producto y proceso, y
- ❖ Estructurar el flujo de trabajo mediante lotes y buffers, optando por buffers de capacidad antes que buffers de inventario. (p.109)

5. Conceptos de la filosofía Lean Construction

5.1. Productividad

Según Brioso, citado en Merino (2015), la productividad es la relación entre lo producido y lo gastado en alguna actividad. Es una medida de eficiencia y efectividad, puesto que mediante la productividad se puede determinar la forma en que se administran los recursos consumidos para obtener un resultado, el cual se desarrolla en un plazo determinado y con estándares de calidad dados (p.49). La fórmula es la siguiente:

$$Productividad = \frac{Resultados}{Esfuerzos} = \frac{Cantidad\ producida}{Recursos\ empleados}$$

Según Porras, Sánchez y Galvis (2014), se debe realizar un estudio cuantitativo del tiempo de permanencia en obra de los trabajadores, para estimar que tan productiva es la labor de todo el conjunto de cuadrillas en la obra, es decir analizar cómo están distribuyendo el tiempo que debe ser dedicado para trabajar en la obra, y así tener un estimado del tiempo dedicado realmente a hacer labores, para optimizarlo y tomar medidas de corrección en cuanto al tiempo desperdiciado. Se realiza un muestreo aleatorio simple a los obreros de la construcción, en las actividades laborales más representativas, para analizar a que se dedica. En un determinado intervalo de tiempo estudiado, un obrero puede desarrollar el trabajo de tres maneras:

- Trabajo Productivo (TP): Es el trabajo que el obrero destina a la producción de alguna unidad constructiva.
- Trabajo Contributorio (TC): Es el trabajo dedicado a labores necesarias para que se realicen las acciones productivas.
- Trabajo No Contributorio (TNC): Es la acción que no se aprovecha para trabajar, como, por ejemplo: descanso, tiempo ocioso, tiempo empleado en cubrir las necesidades fisiológicas, entre otros. (p.43)

5.2. Variabilidad

La variabilidad se define como la desviación de lo planificado, por lo cual, una buena planificación debe tener como objetivo fundamental la reducción de la variabilidad al mínimo posible, hasta lograr su inexistencia. Para reducir la variabilidad debe lograrse evitar imprevistos, prevenir y manejar adecuadamente las crisis, y sobre todo generar confianza en la planificación, esto se logra mediante procesos de planificaciones intermedias como el lookahead (propuesto por el Lean Construction), que permiten adelantarnos a posibles eventualidades. En la construcción, la variabilidad implica nuevas actividades que generan pérdidas, creando a su vez mayores interrupciones en el flujo de trabajo y, por ende, mayores tiempos de ejecución. (Jarrin, 2014, pp.20-21)

Para Ramos (2014), los procesos productivos son variables y en el sector de construcción, la variabilidad y la incertidumbre son elevadas. Parte de esta variabilidad puede ser eliminada a través de la estandarización de las actividades, implementando procedimientos estándares para reducir la variabilidad en la conversión y en el flujo. (p.29)

5.3. Just in Time

El Just in Time (JIT) es un sistema de producción que fabrica y entrega justo lo que necesita, cuándo se necesita y en la cantidad que se necesita. Este concepto fue desarrollado en la casa Toyota, en la década de los 30 por Kiichiro Toyoda, quien decretó que las operaciones de Toyota no deberían tener exceso de inventario, y que Toyota debería esforzarse en trabajar en colaboración con los proveedores para nivelar la producción. Y fue el ingeniero Taiichi Ohno, quien lidero el JIT, dentro de un único sistema de flujo de información y materiales para controlar la sobreproducción. (Pons, 2014, p.16)

5.4. Curva de aprendizaje

La teoría de la curva de aprendizaje supone que a medida que una actividad desarrollada por un obrero se repite, el tiempo y el costo por reiteración disminuye. En consecuencia, se eleva la productividad en cada unidad sucesiva. La curva de aprendizaje representa un incremento en la productividad, el cual es el resultado de realizar repetidamente una actividad. Esta se interpreta matemáticamente por medio de la siguiente expresión:

$$Y_N = K \times N^S$$

Donde:

- Y_N : Esfuerzo requerido para producir la enésima unidad
- K : Esfuerzo requerido para producir la primera unidad
- N : Número de unidades producidas, comenzando con la primera unidad
- S : Constante medida de la tasa de aprendizaje (González, 2005, pp.40-43)

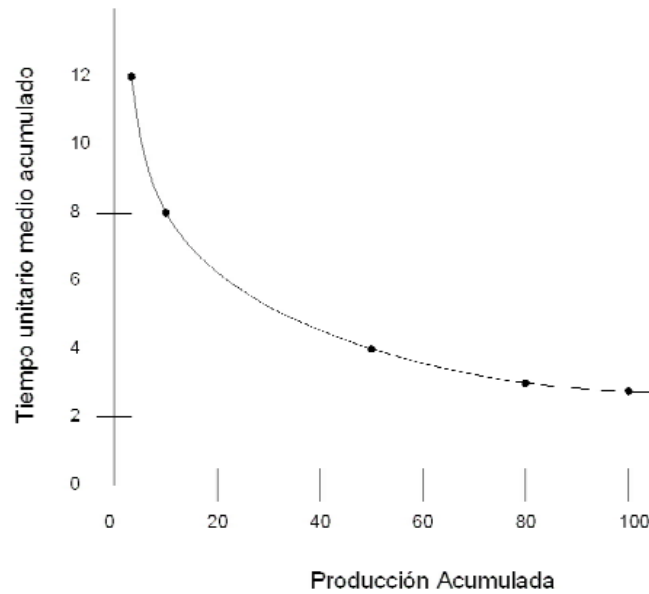


Figura 4. Curva de aprendizaje: tiempo unitario versus producción acumulada (Fuente. González, 2005, p.43)

Con respecto a la curva de productividad, ésta se puede determinar por partida. Por ejemplo, la curva de productividad del encofrado de losa, o la curva de productividad del vaciado de muros. En el eje de las abscisas se colocan los días y en el eje de las ordenadas se colocan los rendimientos obtenidos en cada día. (Chávez y De la Cruz, 2014, p.51) La fórmula para el cálculo del rendimiento es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Metrado de partida}}{\text{Horas Hombre}}$$

En las siguientes figuras, se muestran las curvas de productividad para actividades en mejora y en disminución.

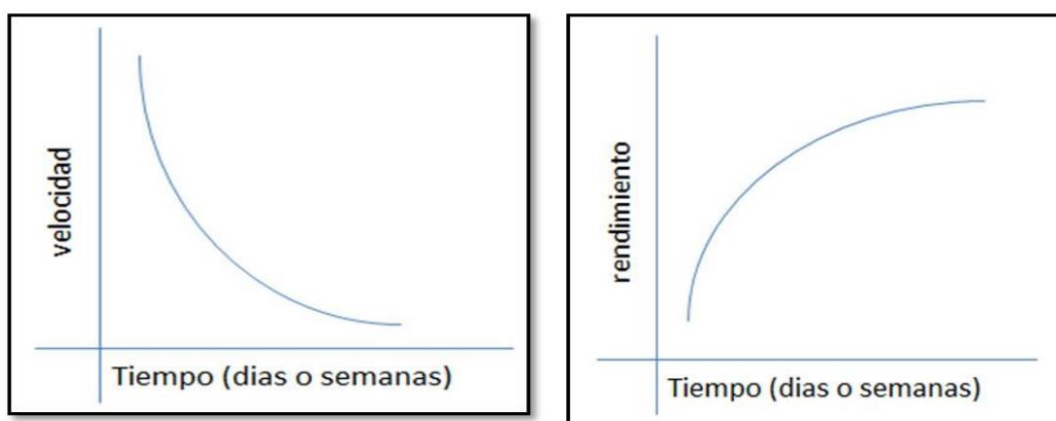


Figura 5. Curvas de productividad en mejora, elaborado por Koskela (Fuente. Chávez y De la Cruz, 2014, p.52)

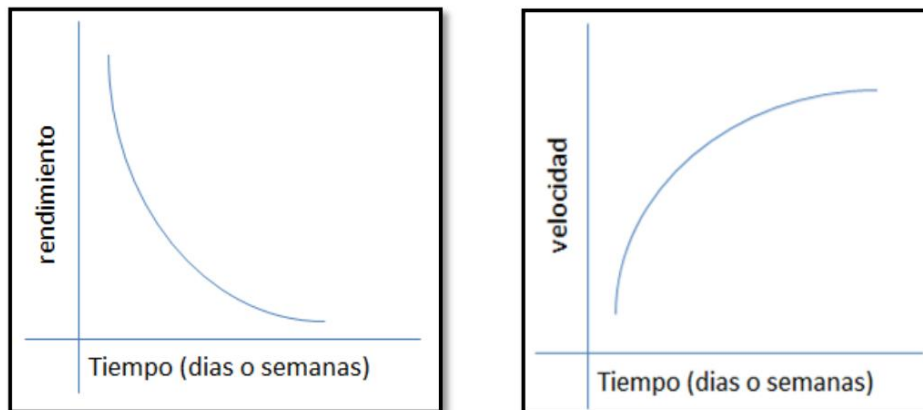


Figura 6. Curvas de productividad en disminución, elaborado por Koskela (Fuente. Chávez y De la Cruz, 2014, p.51)

5.5. Sectorización

La sectorización del lugar del trabajo, implica tener definido el método constructivo y el metraje de las actividades generales en unidades definidas, para luego dividir los metrados totales entre la cantidad de sectores con los que se desea realizar la obra. Los sectores deben presentar similar cantidad de elementos especiales a ejecutar, con la finalidad de que no se produzcan atrasos o adelantos por un desbalance en la capacidad de producción entre las cuadrillas. Una vez definidos los sectores y las actividades de la sectorización, se tiene que dar a conocer al personal involucrado en estos trabajos de forma clara y visible, de preferencia en un mural para que contribuya a dar órdenes, tomar mediciones y controlar la ejecución de las actividades programadas. (Castro y Pajares, 2014, p.36)

5.6. Tren de actividades

El tren de actividades es un sistema balanceado de producción constante, que ayuda a optimizar las actividades repetitivas y secuenciales, tales como edificación, montaje, tendido de tuberías, etc. La aplicación de este sistema, tiene la ventaja de crear la especialización y la curva de aprendizaje, existe mayor facilidad de control y mejora de la productividad. La principal desventaja es tener todas las actividades como partidas críticas, y por lo tanto el no cumplimiento de una, genera improductividad en el sistema. Los pasos a seguir para generar un tren de actividades, son:

- ✓ Sectorizar el área de trabajo,
- ✓ Listar actividades necesarias,
- ✓ Secuenciar las actividades (incluir buffers de ser necesario), y
- ✓ Dimensionar recursos. (Castro y Pajares, 2014, pp.36-37)

Así mismo, Castro y Pajares (2014), indican que para desarrollar un sistema de tren de actividades se debe reunir las siguientes características:

- ❖ Las actividades se consideran como una estación de trabajo.
- ❖ Se busca que todas las estaciones estén balanceadas en capacidad y en demanda.
- ❖ Todos los procesos son cuello de botella, todas las actividades son ruta crítica.
- ❖ Todos los días, cada cuadrilla produce lo mismo.
- ❖ Todos los días se tiene el mismo avance en el proyecto.
- ❖ La cantidad de recursos necesarios son constantes.
- ❖ La capacidad de cada estación está diseñada para la cantidad de trabajo. (p.37)

5.7. Buffers

Según Castro y Pajares (2014), los buffers permiten amortiguar el impacto negativo de la variabilidad sobre una cadena de procesos de producción. El uso de tamaños de buffers óptimos facilitará el desarrollo de programas de construcción de mayor capacidad predictiva, así como también, una adecuada administración de éstos mejorará el flujo de producción en los proyectos.

Los procesos de producción en construcción aumentan el riesgo con la ausencia de buffers. Aunque la utilización de buffers implique pérdidas o desperdicios según el modelo Lean, estos son necesarios en los procesos de producción, debido a que son útiles para usarlos sobre cualquier imprevisto durante la ejecución de la obra, ya sea de materiales, mano de obra o tiempo. Existen tres tipos de buffers:

- Buffers de inventarios: Es importante y necesario tener material extra para ser utilizados en caso no lleguen los pedidos a tiempo.
- Buffers de tiempo: Son importantes para tener contingencia por posibles pausas de producción o imprevistos que puedan ocurrir en la ejecución de la obra. Se definen también como holguras en el programa maestro.
- Buffers de capacidad operacional: Es la utilización flexible de mano de obra y equipos, de modo que se ajusten a la demanda requerida. En la construcción, un buffer de este tipo implica, por ejemplo, disponer de una cantidad de mano de obra flexible, que se ajuste a los requerimientos variables de producción. (pp.30-31)

En la filosofía Lean Construction, se prefiere tener buffers de capacidad antes que los buffers de inventario, es importante recalcar que todo buffer es una holgura intencional, por lo que es una pérdida para el proyecto. (Castillo, 2014, p.111)

5.8. Last Planner System

El Last Planner System (LPS) o Sistema del Último Planificador, fue desarrollado por los investigadores Ballard y Howell, como una forma de aplicar la teoría de la producción a la industria de la construcción. El principio básico se basa en aumentar el cumplimiento de las actividades de construcción, mediante la disminución de incertidumbre asociada a la planificación. (Castro y Pajares, 2014, p.28)

Según Porras, Sánchez y Galvis (2014), el Last Planner System se define como un sistema de planificación y control de la producción, para mejorar la variabilidad en las obras de construcción y reducir la incertidumbre en las actividades programadas. Es un enfoque práctico, en el cual los gerentes de construcción y los jefes de equipo colaboran para preparar planes de trabajo, que pueden ser ejecutados con un alto grado de fiabilidad para mejorar la estabilidad del trabajo. El LPS es la persona o grupo responsable de la planificación operativa, es decir, de la estructuración del diseño de productos para facilitar un mejor flujo de trabajo y el control de las unidades de producción, lo que equivale a la realización de los trabajos individuales en el nivel operativo. (p.39)

El Last Planner System añade un componente de control de la producción al sistema tradicional de gestión de proyectos. El LPS puede entenderse como un mecanismo para la transformación de “lo que debería hacerse” en “lo que se puede hacer”, formando así un inventario de trabajo realizable, que puede ser incluido en los planes de trabajo semanal. La inclusión de asignaciones en los planes de trabajo semanal es un compromiso de los últimos planificadores de “lo que en realidad se hará”. (Pons, 2014, p.55)



Figura 7. La formación de las tareas en el Last Planner System, elaborado por Ballard (Fuente. Pons, 2014, p.54)

La estructura del Last Planner System se desarrolla en tres niveles distintos de planificación, desde lo más general hasta lo más específico, planteando así un modelo de planificación en cascada que se basa en el principio del trabajo sistemático, donde la planificación se realiza en el nivel más bajo de jerarquía de planificadores, es decir la última persona o grupo que tiene a cargo la supervisión de los trabajos en obra (el último planificador). La filosofía es asegurar que todos los requisitos previos necesarios para realizar un trabajo estén en su lugar antes de asignar las actividades a las cuadrillas de trabajo. (Porras, Sánchez y Galvis, 2014, p.40)

Según Ballard, citado en Porras, Sánchez y Galvis (2014), todas las tareas tienen tres categorías: deben, pueden y se harán. Estas reflejan cada nivel de planificación de la siguiente manera:

- El programa maestro, indica qué se debe realizar,
- El programa intermedio, prepara el trabajo y realiza la revisión de las restricciones, y
- El plan semanal, programa una serie de actividades que pueden ejecutarse, comprometiendo a los agentes al cumplimiento del programa. (p. 40)



Figura 8. Modelo general de planificación del proyecto usando LPS, elaborado por Ballard (Fuente. Pons, 2014, p.55)

El Last Planner System muestra la viabilidad de los plazos y los hitos del proyecto. Una vez que el plan está completo, se desarrolla la planificación por fases para cada hito. El equipo crea la planificación por fases de todo el proyecto. Ese plan conduce a la generación de un Lookahead Planning o planificación intermedia, que permite al equipo anticipar y obtener todo lo necesario para el inicio del proyecto. Además, el equipo genera un plan semanal para identificar lo que se puede hacer en relación con lo que se debe hacer y lo que se hará para la siguiente semana. (Pons, 2014, p.57)

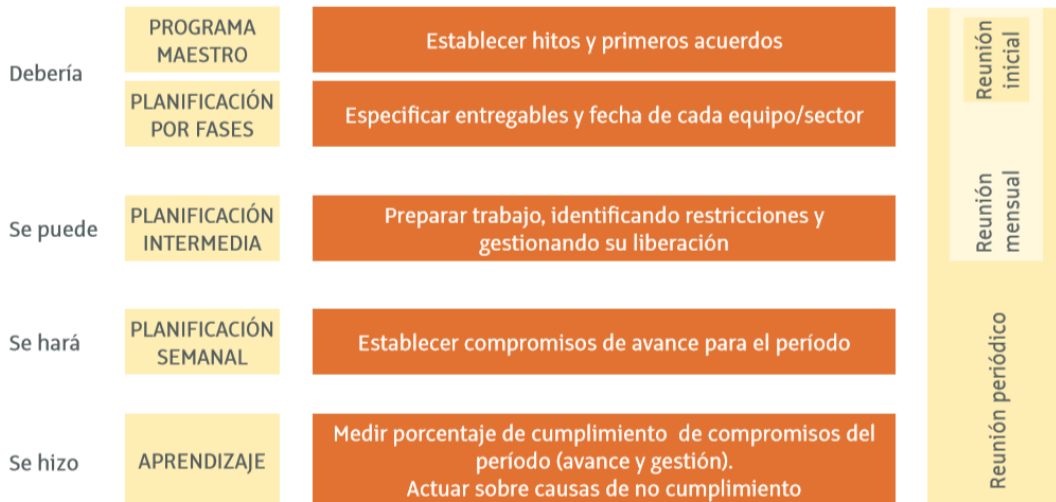


Figura 9. Cuadro resumen del Last Planner System (Fuente. Pons, 2014, p.57)

El Last Planner System controla de una manera más efectiva la ejecución de las actividades necesarias para completar el proyecto, asegurándose de que lo que se planea hacer en la obra realmente será hecho, y así evitar paros en la obra que conllevan pérdidas de tiempo que retrasan el proyecto. (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014, p.40)

5.8.1. Planificación maestra

La planificación maestra es la planificación para todo el proyecto, engloba un análisis macro en donde se desarrollan las estrategias de ejecución del proyecto. La planificación maestra identifica las actividades, pero no representa el flujo de los requerimientos, solo la relación secuencial entre las fases. Esta programación puede estar sujeta a modificaciones y ajustes de acuerdo al estado del proyecto. (Castillo, 2014, p.95)

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la programación maestra del casco de una obra, donde se identifican las actividades importantes de la estructura.

ACTIVIDAD	MESES							
	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.
Obras Provisionales	♦							
Movimientos de Tierras			S2					
Calzaduras			S2					
Cimentación			S2					
Muro de Contención			S2 S1					
Columnas y Placas			S2 S1 1P	2P 3P 4P	5P 6P 7P			
Vigas y Losas			S2 S1 1P	2P 3P 4P	5P 6P 7P			
Tabiquería					1P	S2 2P 3P	4P 5P	6P 7P
Tarrajeos						S1 1P 2P	3P 4P	5P 6P
Pisos					S2		1P 2P	3P 4P

Figura 10. Planificación maestra, elaborado por Orihuela et al. (Fuente. Castillo, 2014, p.95)

5.8.2. *Lookahead Planning*

El Lookahead Planning, una herramienta del Last Planner System, es una programación más detallada de las actividades a ejecutarse. Comprende la planificación que se realiza en un periodo de cuatro (4) a seis (6) semanas dependiendo del tamaño de la obra. En esta programación intermedia, se detallan las restricciones que se presentan para un determinado trabajo, y se deberán levantar las observaciones identificadas en las sesiones pull. (Torres, 2018, pp.22-23)

Según Castillo (2014), los pasos para la planificación lookahead son los siguientes:

- ✓ Seleccionar aquellas actividades que se sabe que se podrían realizar cuando se programen.
- ✓ Dividir las actividades en asignaciones, una asignación es una orden directa de trabajo, por lo tanto, es el nivel más alto de la planificación.
- ✓ Identificar y analizar las restricciones, proceso que se realiza para saber si las asignaciones pueden ejecutarse cuando se han programado. Se presenta en dos pasos:
 - Identificar las restricciones, adelantándose a seleccionar las posibles causas que pudieran hacer que una actividad no se realice, y
 - Analizar las restricciones, que consiste en ver si se tiene la información y los recursos suficientes, sólo pueden avanzar en las semanas y entrar en la programación aquellas asignaciones que se encuentren listas y sin restricciones.
- ✓ Mantener un grupo de asignaciones denominadas “trabajo de reserva” o “buffers” para mantener la eficiencia de la labor, si las actividades planeadas no se pueden ejecutar.
- ✓ Equilibrar la cantidad de trabajo por hacer con la capacidad que se tiene en obra.
- ✓ Listar los requisitos que se deben tener en cuenta para ejecutar las asignaciones en la semana que se han programado. (p.98)

En la figura se muestra un ejemplo de una planificación lookahead de cuatro (4) semanas, en donde se ha estimado que el tiempo para la construcción de placas y columnas del segundo sótano abarca desde el día 1 hasta el día 10, el día 11 se comienza con las placas y columnas del primer sótano hasta el día 19. Así mismo, como es necesario que existan las placas para poder comenzar con el armado de vigas y losas, éstas se encuentran programadas para comenzar el día 3. (Castillo, 2014, p.99)

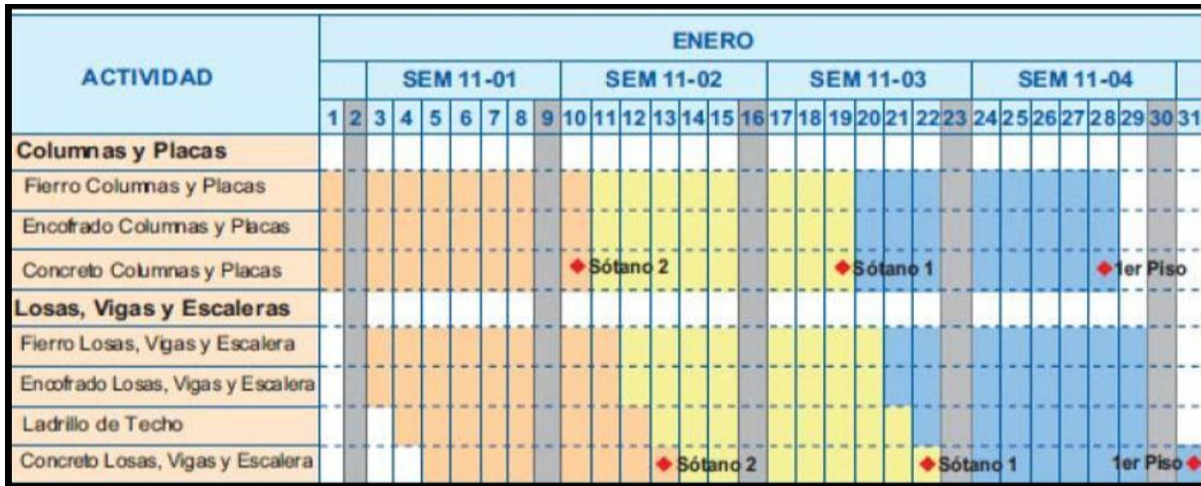


Figura 11. Lookahead Planning, elaborado por Orihuela et al. (Fuente. Castillo, 2014, p.99)

5.8.3. Programación semanal

La programación semanal es la última fase de planificación del Last Planner System, y presenta el mayor nivel de detalle antes de la ejecución de un trabajo. Es realizada por los administradores de obra, jefes de terreno, jefes de obra, capataces y todos aquellos que supervisan directamente la ejecución de los trabajos en obra. Se mide el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC), para saber porcentualmente cual fue el número de actividades programadas que realmente se ejecutaron en obra y así medir que tan efectiva fue la planificación semanal y, además, tabular las causas por las cuales el PPC no fue del 100%, para corregir en la siguiente semana.

Teniendo ya elaborado el plan de trabajo semanal, el LPS mide el cumplimiento de lo programado en el plan mediante el Porcentaje de Plan Cumplido, el cual compara lo que se planeó hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho en obra. Para calcular el PPC es necesario tener el total de actividades que realmente se pudieron completar en obra, por tal motivo se debe llevar un formato, donde cada actividad programada tendrá solo un estado de dos posibles: actividad completada o no completada, de esta forma se obtienen los totales de actividades cumplidas y no cumplidas.

5.9. Teoría de restricciones

Los factores a tomar en cuenta en el análisis de restricciones son: el cumplimiento de las tareas precedentes; el diseño y las especificaciones de los detalles constructivos; la disponibilidad de componentes y materiales; la disponibilidad de mano de obra, de equipo, de espacio; y la consideración de posibles impedimentos por condiciones externas. (Castillo, 2014, p.98)

Torres (2018), indica que, en la planificación intermedia (lookahead) se realiza un análisis de todos los factores que pueden intervenir en el proyecto y que no permiten que el trabajo sea ejecutable. Este análisis resulta de gran importancia, ya que, si alguna actividad programada

para su ejecución cuenta con alguna restricción, no se va a poder realizar y esto afectará el cronograma de obra. El formato de análisis de restricciones debe incluir:

- ✓ El ítem y la partida donde se encontró la restricción.
- ✓ La descripción de la restricción.
- ✓ El grupo al que pertenece la restricción como, por ejemplo: materiales, equipos, procesos, gestión, etc.
- ✓ La persona responsable o encargada de levantar esa restricción.
- ✓ El plazo en el que se debe levantar la restricción para que no afecte a la programación.
- ✓ Las respuestas del responsable sobre el avance en el levantamiento de dicha restricción.
- ✓ El estatus de la restricción, si fue levantada o no. (p.24)





CAPITULO III
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1. Descripción de la empresa

MARQUISA S.A.C. Contratistas Generales es una empresa constructora que nace en el año 1988, siendo fundador y propiedad del ingeniero Mauro Marquina Neira, quien hoy en día se desempeña como el gerente general de la empresa. La empresa se dedica al desarrollo de servicio de proyectos de edificaciones, obras viales, habilitaciones urbanas, y también al asesoramiento técnico, mantenimiento de carreteras y alquiler de equipos y maquinaria.

▪ Misión

Nuestra misión como empresa arequipeña de construcción es, brindar un servicio integral a nuestros clientes estatales o privados y desarrollarnos en infraestructura de educación, vivienda, saneamiento, movimiento de tierras, obras viales y puentes, minería, electrificación, y otros; garantizando la calidad de nuestro servicio, cumpliendo estándares de la tri norma y el cumplimiento de nuestros compromisos mediante los principios Lean, logrando la satisfacción de nuestros clientes, crecimiento profesional y personal en nuestros colaboradores y desarrollo sostenible en la comunidad que intervenimos. (Marquisa, 2019)

▪ Visión

Nuestra visión para nuestros 30 años, es la de fortalecer y consolidar nuestro liderazgo, como la empresa arequipeña de mayor calidad constructiva del país. (Marquisa, 2019)

MARQUISA dio inicio a sus actividades en el año 1988, siendo su primer proyecto la habilitación urbana de la Calle Taboada en el distrito de Yanahuara, provincia de Arequipa. Desde ese inicio a la fecha, la empresa se ha consolidado año a año, logrando un posicionamiento importante y no solamente en la región Arequipa sino también en regiones aledañas (Cusco, Ica, Moquegua, Puno y Tacna). Actualmente, los números históricos de la empresa registran ciento cinco (105) proyectos terminados, siete (7) proyectos en construcción y tres (3) proyectos en cartera, teniendo una planilla con más de cien (100) empleados y con proyección a expandirse más.

En el año 2015, la empresa registró una facturación de más de S/. 45'000,000, para el término del siguiente año la facturación ascendió los S/. 160'000,000 y para el año 2017 la facturación estuvo alrededor de S/. 140'000,000.

Desde principios del año 2017, los gerentes de la empresa MARQUISA vieron la necesidad de integrar las especialidades necesarias para el desarrollo de un proyecto, era gestionar con una metodología distinta a la común con el fin de obtener un mejor producto final y poder destacar en un rubro en el cual la competencia es alta. La filosofía Lean Construction, una metodología novedosa y casi no usada por las empresas constructoras en la región de Arequipa, y fue MARQUISA quien decidió adoptar esta filosofía de construcción para conseguir mejoras en la

calidad de sus productos y mejores ingresos para la empresa, conllevando al posicionamiento y al crecimiento de la empresa, es así como a partir de esta decisión comenzó un proceso de implementación y aprendizaje continuo.

2. Descripción del proyecto

El proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de las Localidades de Ocoña y los Anexos de Pumacoto, El Puente y Chuli del distrito de Ocoña, provincia de Camaná - Arequipa” es una obra de saneamiento en beneficio de la población de Ocoña, distrito ubicado a 58 km del distrito de Camaná. En el proyecto se amplían los servicios de agua potable y alcantarillado para el beneficio de 3,471 habitantes mediante la ejecución de 556 conexiones de agua potable y 453 conexiones de alcantarillado, también se contempla la mejora en la calidad del agua, cambiando la captación del agua, pasa de una fuente subterránea tipo pozo a una fuente subterránea tipo manantial, con mayor caudal para mejorar la prestación del servicio, pasa de un abastecimiento de ocho (8) horas máximas diarias a un abastecimiento continuo durante las veinticuatro (24) horas del día.

El proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de las Localidades de Ocoña y los Anexos de Pumacoto, El Puente y Chuli del distrito de Ocoña, provincia de Camaná - Arequipa” comprende dentro de las más importantes redes: una línea de conducción con longitud de 18,742.52 m, una red de agua potable con longitud de 7,276.59 m y una red de alcantarillado con longitud de 4,136.34 m; según la planificación inicial, los trabajos tienen una duración de seis (6) meses, iniciando en noviembre de 2017 y finalizando en abril de 2018. El proyecto tiene destinado un presupuesto de S/. 21'384,542.53 incluyendo IGV, gastos generales y utilidades, además cuenta con aproximadamente setenta y cinco (75) obreros y con un equipo técnico de diez (10) personas, presentados en sus cargos en el organigrama que sigue.

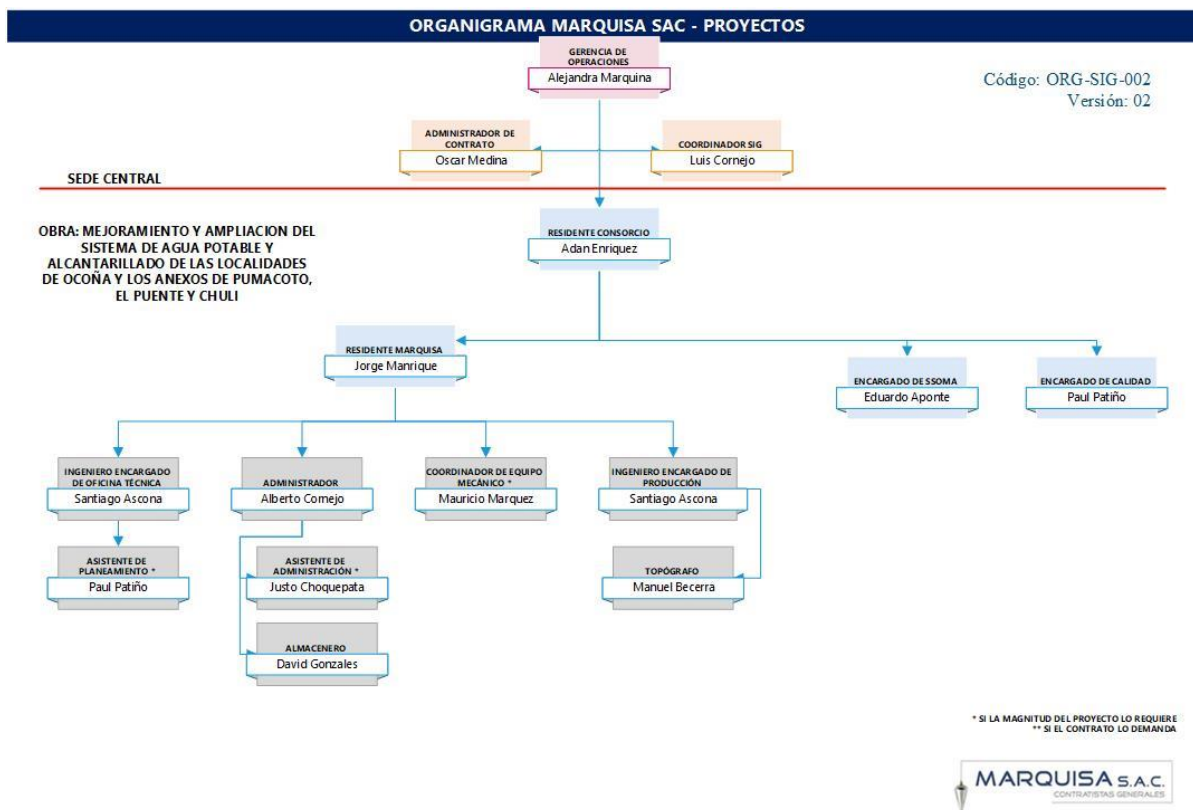


Figura 12. Organigrama de obra (Fuente. Marquisa)

3. Herramientas aplicadas

El presente trabajo se centra en el estudio y análisis de la implementación y la aplicación de las herramientas Lean en el proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de las Localidades de Ocoña y los Anexos de Pumacoto, El Puente y Chuli del distrito de Ocoña, provincia de Camaná - Arequipa”. No obstante, MARQUISA no contempla todo el sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS), lo hace solo con el módulo de ejecución Lean o construcción Lean, más en este trabajo se suman los otros dos módulos del sistema de entrega de proyectos Lean, los cuales son: control de producción y trabajo estructurado.

En el siguiente cuadro se consigue apreciar las herramientas que contempla cada módulo del sistema de entrega de proyectos Lean, además se señalan cuáles de estas herramientas fueron implementadas y aplicadas en el proyecto en estudio.

Tabla 1
Herramientas del Lean Project Delivery System disponibles y aplicadas

LPDS	Número	Herramientas	Aplicación
EJECUCIÓN LEAN	21	FIRST RUN STUDIES	SI
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	SI
	23	CARTA DE BALANCE	SI
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	NO
	25	POKA YOKE	NO
	26	MANUALES DE PROCESOS	NO
	27	ANDON	NO
	28	ONE TOUCH HANDLING	NO
CONTROL DE PRODUCCION	34	PLANIFICACION MAESTRA	SI
	35	PLANIFICACION POR FASES	NO
	36	LOOKAHEAD PLANNING	SI
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	SI
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	SI
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	SI
	40	LINEAS DE BALANCE	NO
TRABAJO ESTRUCTURADO	41	5 WHYS	NO
	42	BUFFERS	SI

Fuente. Propia (2019)



CAPITULO IV
APLICACIÓN DE LA FILOSOFIA LEAN
EN EL PROYECTO

La aplicación de la filosofía Lean Construction es una necesidad para la empresa MARQUISA S.A.C. Contratistas Generales, desarrollar el concepto de productividad es importante en el mercado de hoy en día. Para ello la aplicación del Lean Construction en el proyecto considera tres etapas: etapa de ejecución Lean, etapa de control de producción y etapa de trabajo estructurado.

En la etapa de ejecución Lean se desarrollan las siguientes herramientas:

- **First Run Studies:** Es el análisis de primera ejecución, es la visualización inicial del proyecto, para ello se desarrolla la sectorización y el tren de actividades para generar el dimensionamiento de las cuadrillas.
- **Nivel General de Actividades:** Es una herramienta de estudio de procesos, de tiempos y de movimientos, se alcanza mejoras en las actividades aumentando el trabajo productivo, disminuyendo el trabajo contributivo y eliminando el trabajo no contributivo.
- **Carta de Balance:** Es la herramienta de análisis de una actividad en específica, reparte los tiempos de las tareas de esa actividad, analiza el procedimiento constructivo y busca la mejora para determinar la cantidad de personal adecuada para la cuadrilla.

En la etapa de control de producción se desarrollan las siguientes herramientas:

- **Last Planner System:** Es el sistema de control de producción, contiene los procesos de planeamiento y programación de un proyecto, para ello se desarrolla en el proyecto las herramientas de la planificación maestra, la planificación lookahead, el plan de trabajo semanal, el porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento.

En la etapa de trabajo estructurado se desarrollan las siguientes herramientas:

- **Buffers:** Los buffers garantizan el plan en un proyecto ante las inseguridades, sostienen el flujo constante en un proyecto y forman opciones viables ante los problemas que se suscitan en la construcción.

Detalladas las etapas aplicadas en este proyecto, a continuación, se exponen las herramientas en los procesos de desarrollo, implementación y uso en el proyecto.

1. Sectorización

La sectorización es la primera herramienta en ser aplicada al proyecto, se requiere conocer el dimensionamiento total del proyecto con metrados determinados, la sectorización es la partida para el desarrollo de las demás herramientas como por ejemplo los trenes de actividades, planificación, programación, dimensionamiento de las cuadrillas, etc. Se requiere la cantidad

de sectores, debido a que la planificación maestra y posteriores herramientas del Last Planner System consideran a los sectores como unidad mínima de planificación.

Como la sectorización inicia con el conocimiento de los metrados, el primer paso a realizar es plantear, en base a la información histórica de la empresa, conectora de su mano de obra calificada y equipo calificado para la ejecución de los trabajos a desarrollar en el proyecto, las cuadrillas y los rendimientos de cada una de las actividades que contemple la culminación de un sector para cada componente del proyecto. Además de los datos de la empresa, se tiene que contemplar para la proposición de la cuadrilla, el rendimiento y la cantidad de personal que se espera tener en obra, el procedimiento constructivo a seguir de acorde al entorno donde se ejecutarán los trabajos, y las variables que conlleva una obra de saneamiento con líneas de agua y desagüe: el tipo de suelo a excavar y el tipo de material y diámetro de la tubería a instalar. Conforme a estos factores se propone un número de personal de obra y equipos para la cuadrilla y el rendimiento a alcanzar, en esta etapa se identifica a la partida de excavación de zanja como la actividad que deberá tener una máxima producción diaria, por desarrollar los trabajos por debajo de la tierra y no tener el conocimiento a ciento por cien de la estratigrafía encontrada, convirtiendo la actividad en la principal precedente a las demás partidas, las cuales son: refino y cama, instalación de tuberías, prueba hidráulica, relleno protector y relleno final, y colocación de afirmado.

Una vez propuestas las cuadrillas y los rendimientos al cumplir las observaciones de los factores expuestos, se plasman la relación de las actividades para poder completar el trabajo de un sector. Se señaló a la actividad de excavación de zanja como la actividad más importante para el desarrollo normal del proyecto, por ser una de las actividades predecesoras, las actividades que prosiguen a esta actividad, en sus cuadrillas y rendimientos se ven supeditados por el rendimiento que desarrolle la excavación de zanja; para ello la necesidad de realizar un estudio de suelos, calicatas con alturas demandadas por el proyecto antes del inicio de los trabajos será primordial para identificar y establecer los rendimientos. La relación de las actividades se debe dar con todas las demás para dar el visto bueno y plasmar las actividades por día.

Luego de describir el procedimiento a seguir es turno de desarrollarlo para el proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña), en el mismo se tienen dos sistemas, agua potable y alcantarillado, ambos contemplan redes y conexiones en tres localidades dentro del distrito de Ocoña, además está presente dentro del sistema de agua potable el componente de línea de conducción y línea de aducción. En los cuatro componentes indicados (línea de conducción, línea de aducción, redes de agua potable y conexiones, y redes

de alcantarillado y conexiones) el rendimiento de la actividad de excavación de zanja será la que condicione las partidas posteriores a esta e incluso condicione a la actividad anterior en el caso de las redes y conexiones en el distrito de Ocoña, específicamente la actividad de corte y demolición de asfalto y veredas. La variación de rendimientos en la excavación de zanja en los cuatro componentes fijados tiene su sustento en el tipo de suelo a excavar, en la línea de conducción se contempla terreno rocoso, terreno semirocoso y terreno normal, en la línea de aducción se contempla terreno rocoso y terreno normal mientras en las redes y conexiones de agua potable y alcantarillado se contempla suelos no saturados y suelos saturados.

Conforme a los componentes planteados se detalla a continuación las actividades para completar un sector con las cuadrillas, los equipos y los rendimientos correspondientes, siendo los siguientes:

Tabla 2
Detalle de actividades en línea de conducción en terreno normal

Actividades	Unidad	Análisis por separado			Análisis en conjunto	
		Cuadrilla	Equipo	Rendimiento (ud./día)	Cuadrilla	Rendimiento (ud./día)
01 LÍNEA DE CONDUCCIÓN						
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	1 operario 1 peón	Estación total	350	1.0 operario 0.5 peón	350
2 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	1 operador 1 peón	Excavadora	120	1.0 operador 1.0 operario 0.5 peón	120
3 REFINE Y CAMA	m	1 operador 1 peón	Minicargador	250	1.0 operario 0.4 operador	120
4 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1 operario 1 peón		250	1.0 peón	
5 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1 operario 1 peón	Motofumigadora	200	1.0 operario 1.0 peón	120
6 RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	m	1 operador 4 peones	Minicargador Rodillo	180	0.6 operador 3.5 peones	120
7 ELIMINACIÓN Y ACARREO DE MATERIAL	m ³	3 operarios	Retroexcavadora Volquetes	120	3.0 operarios	120
8 COLOCACIÓN DE AFIRMADO	m	2 peones	Rodillo	180	1.5 peón	120

Fuente. Propia (2019)

Tabla 3
Detalle de actividades en redes de agua potable en suelo no saturado

Actividades	Unidad	Análisis por separado			Análisis en conjunto	
		Cuadrilla	Equipo	Rendimiento (ud./día)	Cuadrilla	Rendimiento (ud./día)
03 REDES DE AGUA POTABLE Y CONEXIONES						
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	1 operario 1 peón	Estación total	350	0.5 operario 0.5 peón	175
2 CORTE Y DEMOLICIÓN DE ASFALTO Y VEREDAS	m	2 peones	Cortadora de asfalto Cortadora de concreto Martillo neumático Generador eléctrico	100	2.0 peones	100
3 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	1 operador 1 peón	Retroexcavadora	120	1.0 operador 1.0 peón	80
4 REFINE Y CAMA	m	1 operador 1 peón	Minicargador	250	1.0 operario 0.5 operador 3.0 peones	80
5 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1 operario 1 peón		250		
6 RELLENO PROTECTOR	m	1 operador 3 peones	Minicargador	180		
7 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1 operario 1 peón	Motofumigadora	200	1.0 operario 1.0 peón	80
8 RELLENO COMPACTADO Y ELIMINACIÓN	m	1 operador 3 peones	Minicargador Canguros Rodillo	180	1.5 operadores 3.0 peones	80
9 REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE AGUA	uds.	1 operario 1 peón	Mezcladora Vibradora	12	1.0 operario 1.0 peón	12

Fuente. Propia (2019)

Tabla 4
Detalle de actividades en redes de alcantarillado en suelo no saturado

Actividades	Unidad	Dimensiones por separado			Dimensiones en conjunto	
		Cuadrilla	Equipo	Rendimiento (ud./día)	Cuadrilla	Rendimiento (ud./día)
04 REDES DE ALCANTARILLADO Y CONEXIONES						
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	1 operario 1 peón	Estación total	350	0.5 operario 0.5 peón	175
2 CORTE Y DEMOLICIÓN DE ASFALTO Y VEREDAS	m	2 peones	Cortadora de asfalto Cortadora de concreto Martillo neumático Generador eléctrico	100	2.0 peones	100
3 DEMOLICIÓN DE BUZONES DE CONCRETO	uds.	3 operadores 2 peones	Martillo neumático Compresora Retroexcavadora	2	2.4 operadores 2.0 peones	2
4 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	1 operador 1 peón	Retroexcavadora	120	0.6 operador 1.0 peón	50
5 IZAJE DE BUZONES Y MEDIA CAÑA	uds.	1 operario 1 operadores 1 peones	Mezcladora Vibradora Grúa	2	1 operario 1 operador 1 peón	2
6 REFINE Y CAMA	m	1 operador 1 peón	Minicargador	250	1.0 operario 0.5 operador 3.0 peones	50
7 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1 operario 1 peón		250		
8 RELLENO PROTECTOR	m	1 operador 3 peones	Minicargador	180		
9 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1 operario 1 peón	Motofumigadora	200	1.0 operario 1.0 peón	50
10 RELLENO COMPACTADO Y ELIMINACIÓN	m	1 operador 3 peones	Minicargador Canguros Rodillo	180	1.5 operador 3.0 peones	50
11 REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE ALCANTARILLADO	uds.	1 operario 1 peón	Mezcladora Vibradora	12	1.0 operario 1.0 peón	12

Fuente. Propia (2019)

1.1. Programación detallada u horaria

La programación detallada toma trascendencia en la sectorización por el conocimiento de la interrelación de las actividades dentro del tren con las cuadrillas correspondientes de cada una de estas actividades programadas a detalle, el análisis dará la eventualidad de cumplimiento de lo diagramado. La programación detallada programa día a día las actividades para cumplir con la sectorización, al ejecutar este procedimiento se pueden ver las partidas críticas y la verificación de la sectorización propuesta.

En el análisis de la programación detallada se encuentra la necesidad de introducir el término takt time plan, por definición se puede decir que el takt time plan asegura que los flujos no paren, logrando flujos eficientes con procesos eficientes, el takt time permitirá el cumplimiento del tren propuesto con cuadrillas justamente dimensionadas. Ejemplificando, un tren con varios vagones vendría hacer un sector con varias actividades a ejecutar, los vagones deberán tener similares capacidades, a capacidades diferentes el tren va tener problemas y demoras mientras a capacidades similares se hará menos esfuerzo y se avanzará más rápido.

Con la utilización del takt time se desarrolla la programación detallada, el procedimiento está en determinar el takt time objetivo, para resolver el tiempo necesario para la producción de una unidad de acuerdo a una demanda, para cada una de las actividades que integran un sector. Los tiempos encontrados para la producción de una unidad conducen a la determinación del volumen de construcción del sector y a su vez a la visualización de los tiempos desarrollados por cada actividad, en su inicio y su fin, en la producción de una unidad.

Línea de conducción

Los trabajos correspondientes al componente de línea de conducción se desarrollan sobre la carretera afirmada que une los distritos de Ocoña y Mariano Nicolás Valcárcel o conocido como Urasqui, en la provincia de Camaná. Sobre la misma el tránsito más presente son vehículos ligeros, ómnibus de dos ejes y camiones simples de dos ejes, todo ello por la presencia de varias minas ilegales en el sector de Urasqui. Esta situación conlleva a la ejecución de la mayoría de las actividades que contemple un sector en un solo día, exceptuando las partidas de prueba hidráulica y colocación de afirmado, ejecutándose las mismas en el día siguiente, de esta manera un sector se desarrollará en dos (2) días.

En el componente de línea de conducción se considera un takt time objetivo de 12 metros, este número significa que una cuadrilla para desarrollar su trabajo de 12 metros debe esperar la culminación de los trabajos en esos mismos 12 metros de las cuadrillas predecesoras a esa cuadrilla y así sucesivamente hasta completar todos los trabajos en los 12 metros señalados, generando el volumen de construcción del sector de acuerdo a un rendimiento fijado. Los

tiempos que genera el takt time objetivo de 12 metros genera un volumen de construcción para un sector de 108 metros.

Tabla 5
Tiempos de actividades para el takt time en línea de conducción

Actividades	Unidad	Cuadrilla	Rendimiento	Takt time	Tiempo	Tiempo
			(und./día) A	(und.) B	(día) C = B/A	(hh:mm) D = 8*C
01 LÍNEA DE CONDUCCIÓN						
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	1.0 operario 0.5 peón	350	12.0	0.034	00:20
2 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	1.0 operador 1.0 operario 0.5 peón	120	12.0	0.100	00:50
3 REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1.0 operario 0.4 operador 1.0 peón	120	12.0	0.100	00:50
4 RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	m	0.6 operador 3.5 peones	120	12.0	0.100	00:50
5 ELIMINACIÓN Y ACARREO DE MATERIAL	m ³	3.0 operarios	120	9.6	0.080	00:40
6 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1.0 operario 1.0 peón	120	12.0	0.100	00:50
7 COLOCACIÓN DE AFIRMADO	m	1.5 peón	120	12.0	0.100	00:50

Fuente. Propia (2019)

Tabla 6
Tiempos de actividades para un sector en línea de conducción

Actividades	Unidad	Cuadrilla	Rendimiento	Volumen del	Tiempo	Tiempo	Horario de trabajo
			(und./día) A	sector (und.) B	(día) C = B/A	(hh:mm) D = 8*C	
01 LÍNEA DE CONDUCCIÓN							
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	1.0 operario 0.5 peón	350	108.0	0.309	02:30	07:20 @ 09:50
2 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	1.0 operador 1.0 operario 0.5 peón	120	108.0	0.900	07:20	07:40 @ 16:00
3 REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1.0 operario 0.4 operador 1.0 peón	120	96.0	0.800	06:30	08:30 @ 16:00
4 RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	m	0.6 operador 3.5 peones	120	84.0	0.700	05:40	09:20 @ 16:00
5 ELIMINACIÓN Y ACARREO DE MATERIAL	m ³	3.0 operarios	120	86.4	0.720	05:10	10:10 @ 16:20
6 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1.0 operario 1.0 peón	120	108.0	0.900	07:20	07:20 @ 15:40
7 COLOCACIÓN DE AFIRMADO	m	1.5 peón	120	108.0	0.900	07:20	07:20 @ 15:40

Fuente. Propia (2019)

El volumen de construcción para un sector de 108 metros se desarrolla en dos (2) días, las actividades de trazo y replanteo, excavación de zanja, y eliminación y acarreo de material se completan durante el primer día; mientras tanto las actividades de refine, cama e instalación de tubería y accesorios, y relleno protector y relleno final transcurren en gran parte en el primer

día, sin embargo queda para el segundo día una unidad y dos unidades según corresponde; por último las actividades de prueba hidráulica y anclaje de accesorios, y colocación de afirmado son desarrolladas durante el segundo día, completándose así la ejecución de todas las actividades de un sector en el componente de línea de conducción.

Tabla 7
Programación detallada para el primer día de un sector en línea de conducción

Día 1	Actividades				
	TRAZO Y REPLANTEO	EXCAVACIÓN DE ZANJA	REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	ELIMINACIÓN Y ACARREO DE MATERIAL
07:00 08:00					
08:00 09:00					
09:00 10:00					
10:00 11:00					
11:00 12:00					
12:00 13:00					
13:00 14:00					
14:00 15:00					
15:00 16:00					
16:00 17:00					

Fuente. Propia (2019)

La anterior figura presenta la programación por horas del primer día que contempla la ejecución de un sector, como se precisó las partidas de trazo y replanteo, excavación de zanja, y eliminación y acarreo de material se completan en esa misma jornada, en el caso puntual de la partida de eliminación y acarreo de material en las primeras horas del día, de 07:20 a 10:10 se realiza netamente la actividad de acarreo de material para las actividades de cama y relleno protector, posterior a esta hora, se ejecutan el trabajo de eliminación de material. En el caso de la partida de refine, cama e instalación de tuberías la ejecución transcurre en el primer día, quedando una unidad para el segundo día en el horario de 07:40 a 08:30, antes del inicio de los trabajos del siguiente sector; idéntica situación para la partida de relleno protector y relleno final, siendo en esta partida la ejecución de dos unidades para el segundo día en el horario de 07:40 a 09:20, igualmente se realizan antes de iniciar los trabajos del siguiente sector; tal como

se aprecia en la figura siguiente con la programación por horas del segundo día, finalizando el sector e iniciando el siguiente sector.

Tabla 8
Programación detallada para el segundo día de un sector en línea de conducción

Día 2	Actividades				
	TRAZO Y REPLANTEO	EXCAVACIÓN DE ZANJA	REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	ELIMINACIÓN Y ACARREO DE MATERIAL
07:00 08:00					
08:00 09:00					
09:00 10:00					
10:00 11:00					
11:00 12:00					
12:00 13:00					
13:00 14:00					
14:00 15:00					
15:00 16:00					
16:00 17:00					

Fuente. Propia (2019)

Una vez verificado el cumplimiento de la realización de las actividades para un sector, a continuación, se detallan las actividades por cada día de ejecución de un sector en el componente de línea de conducción.

Día 1

- Trazo y replanteo
- Excavación de zanja
- Refine, cama e instalación de tuberías y accesorios
- Relleno protector y relleno final
- Eliminación y acarreo de material

Día 2

- Prueba hidráulica y anclaje de accesorios
- Colocación de afirmado

Tabla 9
Desarrollo de actividades por día en línea de conducción

Actividades	Días					
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
01 LÍNEA DE CONDUCCIÓN						
01 TRABAJOS PRELIMINARES						
TRAZO Y REPLANTEO	S1	S2	S3	S4	S5	S6
02 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
EXCAVACIÓN DE ZANJA	S1	S2	S3	S4	S5	S6
03 TUBERIAS Y ACCESORIOS						
REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	S1	S2	S3	S4	S5	S6
05 REPOSICIONES						
RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ELIMINACIÓN Y ACARREO DE MATERIAL	S1	S2	S3	S4	S5	S6
COLOCACIÓN DE AFIRMADO		S1	S2	S3	S4	S5

Fuente. Propia (2019)

Redes de agua potable y conexiones

El desarrollo de las actividades del componente de redes de agua potable y conexiones se ejecutan en las localidades del distrito de Ocoña, donde no se tendrá restricción alguna al cierre del tránsito, por tener vías aledañas a las calles afectadas por la realización de los trabajos, para ser usadas como desvíos para el tránsito. De esta forma, las actividades que conlleva un sector se podrán realizar una por una cada día, salvo en el primer día donde las partidas de trazo y replanteo, y corte y demolición de asfalto y veredas se realizan en el mismo día; seguidamente las actividades de excavación de zanja, refine, cama e instalación de tuberías y accesorios, prueba hidráulica y anclaje de accesorios, relleno compactado, eliminación y afirmado, y reposición de veredas y cajas de agua transcurren del segundo día al sexto día de la ejecución del sector.

Tabla 10
Tiempos de actividades para un lote diario en redes de agua potable

Actividades	Unidad	Cadrilla	Rendimiento	Lote diario	Tiempo	Tiempo	Horario
			(und./día)	(und.)	(día)	(hh:mm)	
			A	B	C = B/A	D = 8*C	
03 REDES DE AGUA POTABLE Y CONEXIONES							
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	0.5 operario 0.5 peón	350	80.0	0.229	01:50	07:20 @ 09:10
2 CORTE Y DEMOLICIÓN DE ASFALTO Y VEREDAS	m	2.0 peones	100	80.0	0.800	06:30	07:40 @ 15:10
3 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	1.0 operador 1.0 peón	80	80.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
4 REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1.0 operario 0.5 operador 3.0 peones	80	80.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
5 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1.0 operario 1.0 peón	80	80.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
6 RELLENO COMPACTADO Y ELIMINACIÓN	m	1.5 operadores 3.0 peones	80	80.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
7 REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE AGUA	uds.	1.0 operario 1.0 peón	12	12.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20

Fuente. Propia (2019)

En este componente como en el componente de redes de alcantarillado, la imprimación asfáltica y la reposición de carpeta asfáltica no se contempla dentro del tren, estas partidas se llevan conjuntamente a cabo luego de finalizar todas las redes de agua potable como las redes de alcantarillado.

Por último, realizada la comprobación de cumplimiento de las partidas para un sector, se detalla a continuación las actividades por día que contemple la ejecución de un sector para las redes de agua potable y conexiones.

Día 1

- Trazo y replanteo
- Corte y demolición de asfalto y veredas

Día 2

- Excavación de zanja

Día 3

- Refine, cama e instalación de tuberías y accesorios

Día 4

- Prueba hidráulica y anclaje de accesorios

Día 5

- Relleno compactado, eliminación y afirmado

Día 6

- Reposición de veredas y cajas de agua

Tabla 11

Desarrollo de actividades por día en redes de agua potable

Actividades	Días					
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
02 REDES DE AGUA POTABLE Y CONEXIONES						
01 TRABAJOS PRELIMINARES						
TRAZO Y REPLANTEO	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6
CORTE Y DEMOLICIÓN DE ASFALTO Y VEREDAS	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6
02 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
EXCAVACIÓN DE ZANJA		AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
03 TUBERIAS Y ACCESORIOS						
REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS			AP1	AP2	AP3	AP4
PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS				AP1	AP2	AP3
04 REPOSICIONES						
RELLENO COMPACTADO, ELIMINACION Y AFIRMADO					AP1	AP2
REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE AGUA						AP1

Fuente. Propia (2019)

Redes de alcantarillado y conexiones

En el componente de redes de alcantarillado y conexiones, el desarrollo de las actividades al igual que en el componente de redes de agua potable y conexiones no se ven restringidas por

el cierre al tránsito en las vías afectadas en las localidades del distrito de Ocoña. Así también las partidas importantes se desarrollan una por día, exceptuando las actividades menores como sucede en el primer día y en el tercer día; las actividades de trazo y replanteo, corte y demolición de asfalto y veredas, y demolición de buzones de concreto se desarrollan en el primer día, en tanto las actividades de izaje de buzones y medias cañas, y refino, cama e instalación de tuberías y accesorios se realizan en conjunto durante el tercer día; las demás actividades transcurren en el segundo día y entre el cuarto día al sexto día de ejecución de los trabajos para un sector.

Tabla 12
Tiempos de actividades para un lote diario en redes de alcantarillado

Actividades	Unidad	Cuadrilla	Rendimiento (und./día) A	Lote diario (und.) B	Tiempo (día) C = B/A	Tiempo (hh:mm) D = 8*C	Horario
04 REDES DE ALCANTARILLADO Y CONEXIONES							
1 TRAZO Y REPLANTEO	m	0.5 operario 0.5 peón	350	50.0	0.143	01:10	07:20 @ 08:30
2 CORTE Y DEMOLICIÓN DE ASFALTO Y VEREDAS	m	2.0 peones	100	50.0	0.500	04:00	07:40 @ 11:40
3 DEMOLICIÓN DE BUZONES DE CONCRETO	uds.	2.4 operadores 2.0 peones	2	2	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
4 EXCAVACIÓN DE ZANJA	m	0.6 operador 1.0 peón	50	50.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
5 IZAJE DE BUZONES Y MEDIA CAÑA	uds.	1 operario 1 operador 1 peón	2	2.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
6 REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	m	1.0 operario 0.5 operador 3.0 peones	50	50.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
7 PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS	m	1.0 operario 1.0 peón	50	50.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
8 RELLENO COMPACTADO Y ELIMINACIÓN	m	1.5 operador 3.0 peones	50	50.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20
9 REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE ALCANTARILLADO	uds.	1.0 operario 1.0 peón	12	12.0	1.000	08:00	07:20 @ 16:20

Fuente. Propia (2019)

Como se detalló en el anterior componente, las partidas de imprimación asfáltica y reposición de carpeta asfáltica se desarrollan conjuntamente con las redes de agua potable una vez culminadas todas las mismas.

Nuevamente, una vez confirmada la realización de las partidas para un solo sector, se desarrolla a continuación para el componente de redes de alcantarillado y conexiones las actividades por día que intervienen en la ejecución de un sector.

Día 1

- Trazo y replanteo
- Corte y demolición de asfalto y veredas
- Demolición de buzones de concreto

Día 2

- Excavación de zanja

Día 3

- Izaje de buzones y medias cañas
- Refine, cama e instalación de tuberías y accesorios

Día 4

- Prueba hidráulica y anclaje de accesorios

Día 5

- Relleno compactado, eliminación y afirmado

Día 6

- Reposición de veredas y cajas de alcantarillado

Tabla 13
Desarrollo de actividades por día en redes de alcantarillado

Actividades	Días					
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
03 REDES DE ALCANTARILLADO Y CONEXIONES						
01 TRABAJOS PRELIMINARES						
TRAZO Y REPLANTEO	D1	D2	D3	D4	D5	D6
CORTE Y DEMOLICIÓN DE ASFALTO Y VEREDAS	D1	D2	D3	D4	D5	D6
DEMOLICIÓN DE BUZONES DE CONCRETO	D1	D2	D3	D4	D5	D6
02 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
EXCAVACIÓN DE ZANJA		D1	D2	D3	D4	D5
03 BUZONES						
IZAJE DE BUZONES Y MEDIA CAÑA			D1	D2	D3	D4
04 TUBERIAS Y ACCESORIOS						
REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS			D1	D2	D3	D4
PRUEBA HIDRAULICA Y ANCLAJE DE ACCESORIOS				D1	D2	D3
05 REPOSICIONES						
RELLENO COMPACTADO, ELIMINACION Y AFIRMADO					D1	D2
REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE ALCANTARILLADO						D1

Fuente. Propia (2019)

En conclusión, se debe examinar al pormenor las actividades involucradas en nuestro tren y el tiempo que tenemos para conseguir el volumen de construcción del sector, con esto se comprueba el cumplimiento de lo programado.

2. Tren de actividades

En estos tiempos en las empresas de construcción se instala el concepto de las curvas de aprendizaje, la empresa MARQUISA también busca la implementación del concepto de las curvas de aprendizaje y este proyecto está en la consideración de esta lección, según el cual el trabajo reiterativo lleva a una especialización que mejora la productividad en dicho trabajo, para lograr esto se utiliza el tren de actividades.

El tren de actividades brinda la facilidad de trasladar la construcción a un sistema mucho más industrializado en el cual se usan líneas de montaje, el tren de actividades tiene el mismo concepto llevado a la construcción.

El tren de actividades se desarrolla para todas las partidas que se utilizarán en la obra, esto se ejecuta estableciendo una sucesión lineal y progresiva entre los sectores para que las cuadrillas avancen por el lugar de trabajo como si un producto lo hace por la línea de montaje en una fábrica.

La aplicación del tren de actividades en este proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña) se puede observar en el lookahead y en las programaciones semanales presentadas en las próximas páginas. A manera de ejemplo y para graficar la sucesión en proyectos de saneamiento de manera más manifiesta se pone el siguiente ejemplo de un tren de trabajo con cuatro sectores.

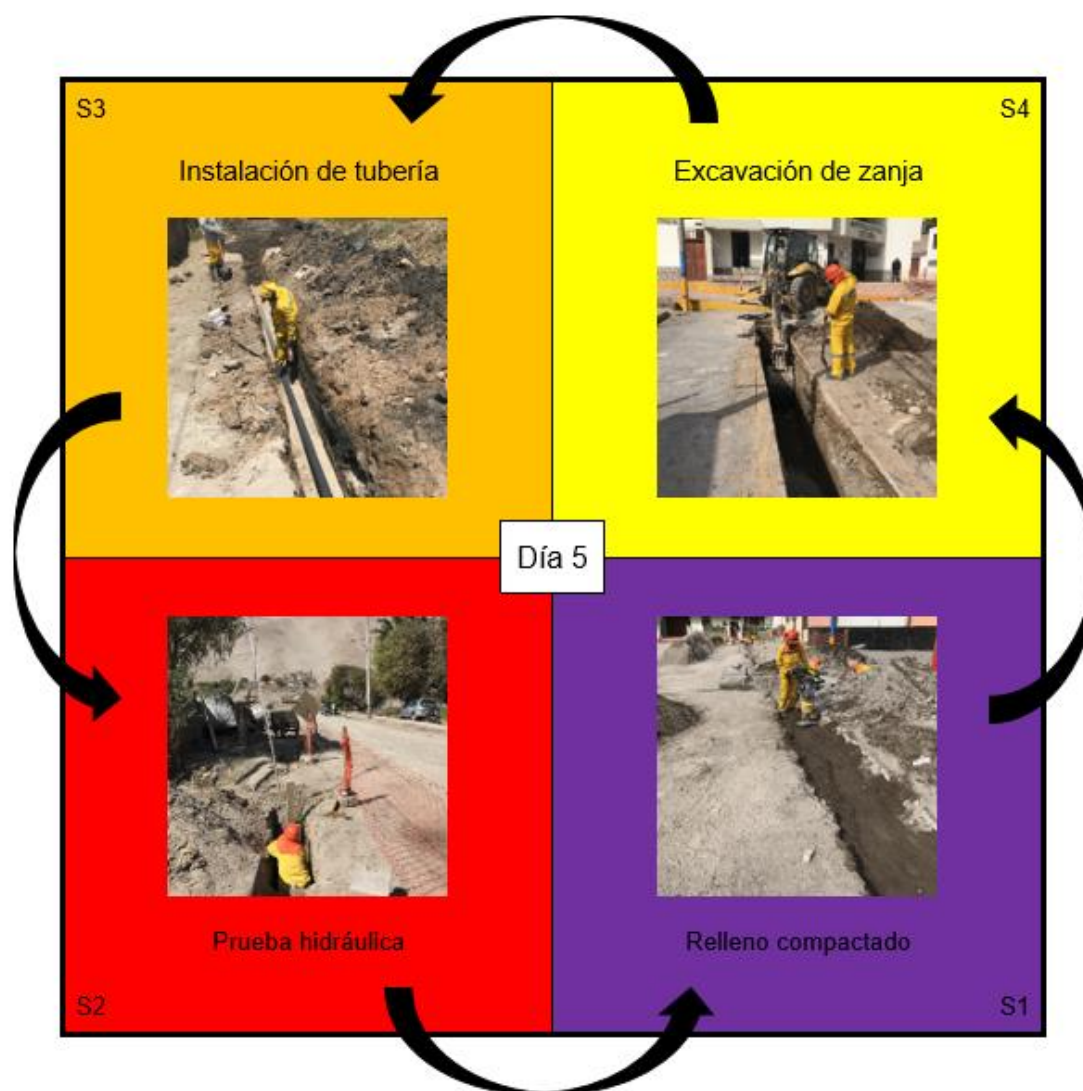


Figura 13. Ejemplo resolutivo de cuatro sectores en el componente de redes de agua potable (Fuente. Propia)

3. Dimensionamiento de cuadrillas

En la construcción tradicional, la determinación del número total de mano de obra y equipos para la posterior distribución del mismo en el armado de las cuadrillas es dictado por el maestro de obra, esta decisión trae consigo un número excesivo de mano de obra y equipos, y como consecuencia de la misma se desarrolla una disminución en la producción de los trabajos.

Una de las situaciones que se dan al seguir el modelo tradicional es la incertidumbre llegado el caso de caer en atraso en el avance de obra, se tendrá la confusión entre falta de mano de obra y equipos en las cuadrillas o falta de velocidad en la producción de las actividades, como respuesta a esta situación se procede a la convocatoria de más mano de obra o al pedido de mayores equipos sin tener una respuesta real de la situación que generó el atraso en el avance de obra. Esta decisión traerá consigo la pérdida total del control del número de personal de obra y equipos, así como la proyección del mismo a lo largo del proyecto.

Ante este procedimiento convencional de elección del número total de mano de obra y equipos, se desarrolla un método de dimensionamiento de cuadrillas bajo el enfoque de la filosofía Lean Construction con el cual se busca la eliminación a cualquier falencia que genera el método convencional y así tener bajo control la cantidad total de personal y equipos en la obra.

El método de dimensionamiento de cuadrillas bajo el enfoque de la filosofía Lean Construction se rige en un circuito, el cual calcula el número exacto de mano de obra y equipos para cada cuadrilla bajo la consigna de cumplir con rendimientos establecidos, para de esta manera garantizar la productividad.

La sectorización marcó los metrados de todas las actividades correspondientes a cada sector determinado, estos metrados son el inicio para el cálculo del número total de personas y equipos en cada una de las cuadrillas, teniendo en consideración la reducción al máximo del número de personas y equipos para cada partida del presupuesto del proyecto.

El ratio de productividad contractual tiene la mayor incidencia en el dimensionamiento de las cuadrillas, forma el punto inicial del circuito, es un aspecto importante para la determinación del número total de mano de obra y equipos porque acá interviene la capacidad de la empresa para una mayor producción mediante el uso de la filosofía Lean Construction, de esta manera se aseguran rendimientos más productivos en comparación a los rendimientos promedios.

Listadas las consideraciones para la metodología del dimensionamiento de las cuadrillas se detalla a continuación su procedimiento.

- ✓ Elegir la partida la cual se dimensionará la cuadrilla correspondiente.
- ✓ Establecer el número de horas diarias de trabajo para la cuadrilla a dimensionar, siendo en MARQUISA un total de ocho (8) horas diarias durante seis (6) días de la semana.

- ✓ Determinar el costo de hora hombre de la mano de obra para poder apreciar la pérdida o el ahorro de dinero al incluir más personas en la cuadrilla a dimensionar.
- ✓ Conocer el ratio de productividad contractual o ratio de productividad venta mediante la revisión de los análisis unitarios.
- ✓ Colocar el número de horas hombre diarias por el número de hombres que integran la cuadrilla.
- ✓ Colocar el volumen de construcción del sector según el componente donde se encuentre la partida de la cuadrilla a dimensionar.
- ✓ Armar una plantilla de Excel con las horas hombre diarias y horas hombre acumuladas, añadir los metrados diarios y metrados acumulados, también añadir los ratios de productividad diarios y ratios de productividad acumulados y por último el ratio de productividad contractual o ratio de productividad venta.
- ✓ Iterar el número de hombres que integran la cuadrilla a dimensionar, de esta forma el incremento de las horas hombre acumuladas se comparan con el ratio de productividad contractual o ratio de productividad venta y de esta forma se evitará el sobredimensionamiento de la cuadrilla.

Tabla 14
Iteración de la mano de obra en una partida en línea de conducción

EXCAVACIÓN DE ZANJA		Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
Personal	2.5 hombres											
Horas diarias	8 horas											
Sector	80 m											
Metrado	2062.5 m											
Metrado diario	79.3 m											
Horas hombre		20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Horas hombre acumulada		420.0	440.0	460.0	480.0	500.0	520.0	540.0	560.0	580.0	600.0	620.0
Metrado		79.3	79.3	79.3	79.3	79.3	79.3	-	-	-	-	-
Metrado acumulado		1665.9	1745.2	1824.5	1903.8	1983.2	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5
Ratio diario		0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	-	-	-	-	-
Ratio acumulado		0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.262	0.272	0.281	0.291	0.301
Ratio contractual		0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
Diferencia de ratios							0.068	0.058	0.048	0.039	0.029	0.019
Diferencia de horas hombre							140	120	100	80	60	40
Diferencia de soles							2,310	1,980	1,650	1,320	990	660

Fuente. Propia (2019)

Ejemplificando el método procedido para el dimensionamiento de cuadrillas en el proyecto en estudio, se seleccionó la partida de excavación de zanja, al ser una actividad crítica en el tren

de trabajo de todos los componentes, en este caso analizaremos la del componente de línea de conducción. Esta partida tiene como ratio de productividad contractual el valor de 0.320 hh/m, para ello se dispone una cuadrilla integrada por 2.5 hombres obteniendo un ratio de productividad diario de 0.252 hh/m, menor al ratio de productividad contractual. La diferencia de ratios, 0.068 hh/m, multiplicado por el metrado total del componente (2,062.50 m) da un ahorro de S/. 2,310.00, teniendo además más de cinco (5) días de buffers para la culminación de los trabajos y de igual manera se registraría ahorro.

Tabla 15

Segunda iteración de la mano de obra en una partida en línea de conducción

EXCAVACIÓN DE ZANJA		Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
Personal	3.0 hombres											
Horas diarias	8 horas											
Sector	80 m											
Metrado	2062.5 m											
Metrado diario	79.3 m											
Horas hombre		24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Horas hombre acumulada		504.0	528.0	552.0	576.0	600.0	624.0	648.0	672.0	696.0	720.0	744.0
Metrado		79.3	79.3	79.3	79.3	79.3	79.3	-	-	-	-	-
Metrado acumulado		1665.9	1745.2	1824.5	1903.8	1983.2	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5
Ratio diario		0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	-	-	-	-	-
Ratio acumulado		0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.314	0.326	0.337	0.349	0.361
Ratio contractual		0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
Diferencia de ratios							0.017	0.006	-0.006	-0.017	-0.029	-0.041
Diferencia de horas hombre							36	12	-12	-36	-60	-84
Diferencia de soles							594	198	-198	-594	-990	-1,386

Fuente. Propia (2019)

Ahora, en el mismo ejemplo veamos la situación de disponer de 3.0 hombres para la realización del mismo trabajo y de esta manera poder apreciar el significado de pérdidas cuando se sobredimensiona una cuadrilla de trabajo. El ratio de productividad diario que se obtiene es de 0.303 hh/m, sigue siendo menor al ratio de productividad contractual, la diferencia de ratios es de 0.017 hh/m y aun nos refleja un ahorro de S/. 594.00. Sin embargo, los más de cinco (5) días de buffers que se registraba en la anterior iteración se pierden, al segundo día de atraso ya se dan pérdidas y al quinto día de atraso las pérdidas ascienden a S/. 1,386.00.

El procedimiento de la metodología del dimensionamiento de las cuadrillas para la determinación de equipos es la misma detallada anteriormente, simplemente se hace referencia a equipos en vez de hombres y estos equipos desarrollan horas máquina en vez de horas hombre.

Tabla 16

Iteración del equipo en una partida en línea de conducción

EXCAVACIÓN DE ZANJA	
Equipo	1.0 equipo
Horas diarias	8 horas
Sector	80 m
Metrado	2062.5 m
Metrado diario	79.3 m

	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
Horas máquina	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Horas máquina acumulada	168.0	176.0	184.0	192.0	200.0	208.0	216.0	224.0	232.0	240.0	248.0
Metrado	79.3	79.3	79.3	79.3	79.3	79.3	-	-	-	-	-
Metrado acumulado	1665.9	1745.2	1824.5	1903.8	1983.2	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5	2062.5
Ratio diario	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	-	-	-	-	-
Ratio acumulado	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.105	0.109	0.112	0.116	0.120
Ratio contractual	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133
Diferencia de ratios						0.032	0.029	0.025	0.021	0.017	0.013
Diferencia de horas máquina						67	59	51	43	35	27
Diferencia de soles						9,535	8,397	7,258	6,120	4,981	3,843

Fuente. Propia (2019)

Analizando el equipo necesario para la misma partida observada en la determinación de la mano de obra, excavación de zanja en el componente de línea de conducción, el equipo dispuesto para los trabajos es una excavadora CAT 320, con la que se obtiene un ratio de producción diario de 0.101 hm/m, menor al ratio de producción presupuestado cuyo valor es de 0.133 hm/m; de esta manera la diferencia de ratios, cuyo valor de 0.032 hm/m va producir un ahorro de S/. 9,535.44 y además va disponer de más de cinco (5) días de buffers donde igual generaría un ahorro en comparación a lo presupuestado.

4. Last Planner

El Last Planner faculta el control de la obra desde el planteamiento general hasta la ejecución de los trabajos en campo, mediante las distintas etapas de programación ya descritas anteriormente.

En el proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña) se aplicaron todas las etapas de planteamiento y programación que demanda la filosofía del Lean Construction, y a continuación se muestra a detalle la metodología de aplicación de cada una de las etapas.

4.1. Planificación maestra

La planificación maestra en una construcción tradicional es una planificación general de todo el proyecto, donde se analiza hasta el mínimo detalle de todos los sucesos que se darán durante

la ejecución de la obra, por ejemplo, tener determinado el día de izaje del buzón de tal calle. La planificación maestra planteada en el Last Planner es similar, sin embargo, hay una diferencia marcada entre ambas planificaciones la cual genera más confiabilidad, es en cuanto a la sucesión de los trabajos en obra. El Last Planner propone una programación mediante hitos, sin necesidad de entrar a detalles como en una planificación tradicional, se usa hitos para poner fechas de inicio y de fin, fechas límites para que las cosas pasen. Ahora, para que estas fechas ocurran el Last Planner presenta más herramientas para el desarrollo de una planificación más detallada.

El proyecto en estudio tiene fecha de inicio el 6 de noviembre de 2017, con una duración de aproximadamente seis (6) meses, la fecha de fin sería el 28 de abril de 2018. En el cronograma de hitos se visualiza las diversas tareas del proyecto, línea de conducción, línea de aducción, buzones prefabricados, redes de alcantarillado y conexiones, redes de agua potable y conexiones, y reposición de pavimento flexible con fechas de inicio y de fin.

En el cronograma de hitos también se visualiza los frentes de cada componente, esto debido a las diferentes condiciones entre cada uno de ellos, los mismos son: cuatro para línea de conducción, dos para redes de alcantarillado y conexiones, y dos para redes de agua potable y conexiones.

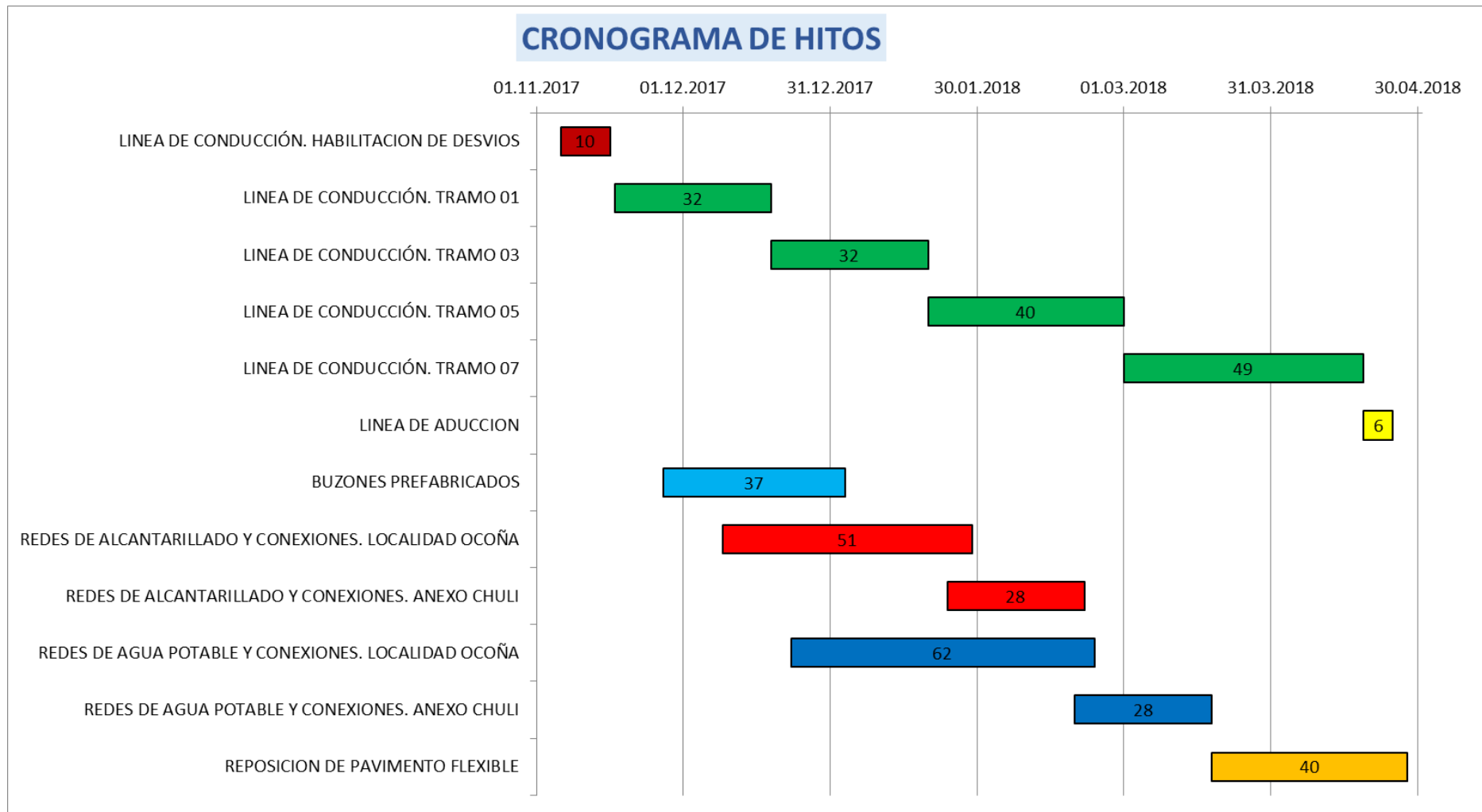


Figura 14. Programación maestra del proyecto (Fuente. Marquisa)

4.2. Lookahead Planning

El Lookahead Planning es una programación intermedia dentro del sistema Last Planner y la proyección en el tiempo depende de dos factores, del horizonte máximo para la alteración de sucesos y ocurrencias en el proyecto y del tiempo mínimo que demande el levantamiento de las restricciones del proyecto. En la elaboración, el ingeniero responsable de obra es el encargado del lookahead y la proyección en el tiempo será de cinco (5) semanas. El Lookahead de cinco (5) semanas es un tiempo prudencial para este tipo de proyectos, las variabilidades del mismo se podrán visualizar en ese espacio de horizonte y de igual forma cinco (5) semanas es tiempo más que suficiente para el levantamiento de las restricciones que se presenten.

En el Lookahead Planning que se presenta se contemplan los trabajos a desarrollar dentro de la semana 9 a la semana 13, siendo los componentes de línea de conducción, redes de agua potable y conexiones, y redes de alcantarillado y conexiones las actividades a ejecutar dentro del tiempo presentado. Se visualiza el establecimiento de los trenes de actividades, y como el trabajo escalonado avanza a través de los sectores para luego avanzar frente por frente, como se puede apreciar en el componente de línea de conducción, donde el segundo frente se termina en la semana 11 y se inicia el tercer frente en la semana 12.

El análisis de restricciones debe formar parte del Lookahead Planning, la inclusión del mismo parte del concepto de la relación de las actividades con sus restricciones que se podrían presentar. De esta forma se debe de incluir las restricciones en el lookahead para una mejor visualización y además para un reconocimiento rápido de las mismas.

En el lookahead de obra que se presenta se aprecia el desarrollo de las actividades de la semana 8 a la semana 12, con la visualización de las restricciones, identificadas con un post-it color rosa con un código dentro que permite ir al análisis de restricciones, ver el plan asignado y al responsable de levantar la restricción para liberar el plan y poder seguir con la programación semanal.

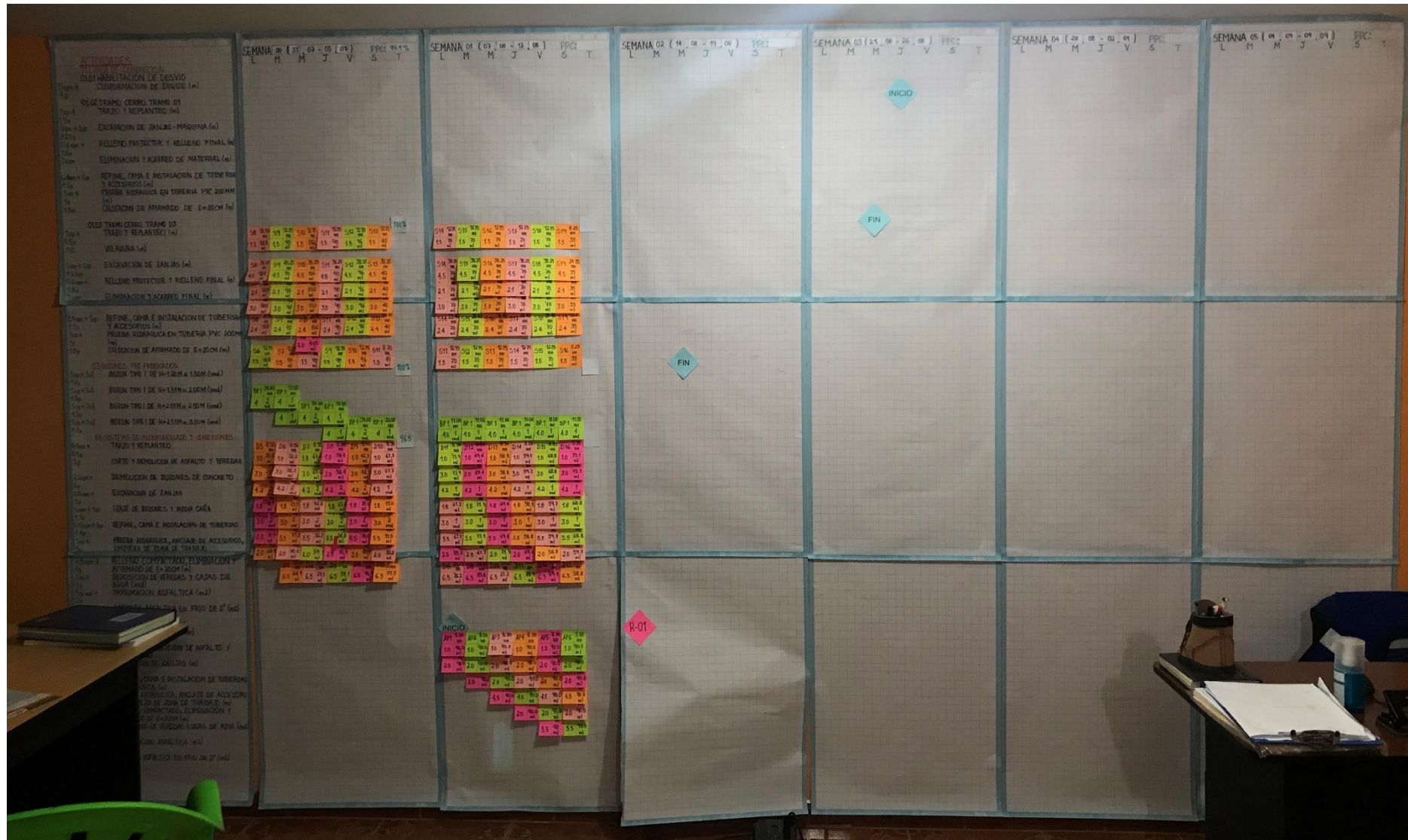


Figura 16. Lookahead de obra del proyecto (Fuente. Propia)

4.3. Programación semanal

Las programaciones semanales se consiguen con la ampliación de la programación intermedia o del Lookahead Planning, la concretización de cada programación semanal se llevará a cabo luego de la reunión semanal de producción que para este proyecto en estudio se dará a cabo los días lunes de cada semana, con la participación del ingeniero responsable de obra, del ingeniero de campo, de los integrantes de staff de ingenieros y administrativos y del maestro de obra. El Lookahead Planning, a cargo del ingeniero responsable de obra, es la primera parte a revisar para la programación semanal, la cual se complementa con la gestión de recursos llevada por el ingeniero de campo y el asistente Lean encargado de la verificación del levantamiento de las restricciones, para programar la semana sin restricciones y también de la asignación de los responsables para el levantamiento de las nuevas restricciones mediante un plan de acción.

Una vez que las actividades se encuentren libres de cualquier restricción se dispone a cada una la cantidad de trabajo para la cuadrilla a cargo de la actividad, estas cantidades de trabajo ya están constituidas en el lookahead, sin embargo, requiere de una nueva revisión debido a que las condiciones en las cuales se desarrollan los trabajos pueden modificarse (más presencia de roca en el terreno a trabajar, menos personal de obra para la realización de los trabajos, más producción en los trabajos, etc.).

En la programación semanal que se presenta se aprecia el plan de ejecución para la semana 6 del proyecto, esta semana de trabajo incluye los días desde el lunes 11 de diciembre al domingo 17 de diciembre del año 2017, con la ejecución de los componentes de línea de conducción, buzones prefabricados y redes de alcantarillado y conexiones. A su vez se visualiza los metrados y porcentajes de avances acumulados anteriores y avances acumulados planificados tras la adición de los avances planificados para esa semana.

MARQUISA S.A.C. CONTRATISTAS GENERALES		PLAN DE EJECUCIÓN						MARQUISA - SGP - F01				
MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LAS LOCALIDADES DE OCOÑA, PROVINCIA DE CAMANÁ - AREQUIPA					FECHA: Lunes, 11 de Diciembre ING. RESPONSABLE: ING. JORGE BRYANN MANRIQUE RIVERA LAST PLANNER: ING. SANTIAGO ASCONA FLORES							
Descripción	Unidad	Metrado Total	Metrado acumulado anterior	Porcentaje de metrado completado anterior	SEMANA 6							Plan Semanal de Producción
					lun 11.12	mar 12.12	mié 13.12	jue 14.12	vie 15.12	sáb 16.12	dom 17.12	
LINEA DE CONDUCCION												
HABILITACION DE DESVOS												
TRAMO CERRO												
TRAMO 01 PROG 0+000 @ 2+062.50												
TRAMO 03 PROG 4+125 @ 6+187.50												
MOVIMIENTO DE TIERRAS												
TRAZO Y REPLANTEO	M	2,062.50	208.50	10.11%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	40.00	440.00	
EXCAVACION DE ZANJAS	M	2,062.50	208.50	10.11%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	40.00	440.00	
RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL	M	2,062.50	208.50	10.11%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	40.00	440.00	
ELIMINACION Y ACARREO DE MATERIAL	M	2,062.50	208.50	10.11%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	40.00	440.00	
TUBERIAS Y ACCESORIOS												
REFINE, CAMA E INSTALACION DE TUBERIA ACCESORIOS	M	2,062.50	208.50	10.11%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	40.00	440.00	
PRUEBA HIDRAULICA EN TUBERIA PVC 200 MM	M	2,062.50	0.00	0.00%		313.00					313.00	
REPOSICIONES												
COLOCACION DE AFIRMADO DE E=0.20M	M3	2,062.50	48.00	2.33%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	40.00	440.00	
TRAMO DIQUE												
TRAMO 05 PROG 8+250 @ 10+967.50												
TRAMO 07 PROG 13+685 @ 16+402.50												
LINEA DE ADUCCION L=561.38 m												
BUZONES PREFABRICADOS												
BUZONES PARA ALCANTARILLADO												
BUZON TIPO I DE H=1.20M A 1.50M	UND	15.00	0.00	0.00%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	11.00	
SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y CONEXIONES												
TRABAJOS PRELIMINARES												
TRAZO Y REPLANTEO	M	2,850.00		0.00%	64.85	70.45	59.13	70.90	73.51	72.20	411.04	
CORTE Y DEMOLICION DE ASFALTO Y VEREDAS	M	2,850.00		0.00%	64.85	70.45	59.13	70.90	73.51	72.20	411.04	
DEMOLICION DE BUZONES DE CONCRET O	UND	50.00		0.00%	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00	
MOVIMIENTO DE TIERRAS												
EXCAVACION DE ZANJAS	M	2,850.00		0.00%		64.85	70.45	59.13	70.90	73.51	338.84	
BUZONES												
IZAJE DE BUZONES Y MEDIA CAÑA	UND	57.00		0.00%		2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	
TUBERIAS Y ACCESORIOS												
REFINE, CAMA E INSTALACION DE TUBERIAS	M	2,850.00		0.00%		64.85	70.45	59.13	70.90	73.51	338.84	
PRUEBA HIDRAULICA, ANCLAJE DE ACCESORIOS, LIMPIEZA DE ZONA DE TRABAJO	M	2,850.00		0.00%				64.85	70.45	59.13	194.43	
REPOSICIONES												
RELLENO COMPACTADO, ELIMINACION Y AFIRMADO DE E=0.20M	M	2,850.00		0.00%						64.85	64.85	
REDES DE AGUA POTABLE Y CONEXIONES												
TRABAJOS VARIOS												

Figura 17. Planificación semanal del proyecto (Fuente. Marquisa)

4.4. Programación diaria

La programación diaria como último procedimiento del sistema Last Planner, es llevado a cabo por el Último Planificador siendo en el proyecto en estudio el ingeniero de campo quien lleve adelante las reuniones diarias conjuntamente con el ingeniero de calidad, el ingeniero de seguridad y el maestro de obra, desarrollándose todos los días al término de la jornada diaria para el reporte de los avances en los trabajos en los distintos frentes ejecutándose en ese momento, y para la verificación de la programación para el día siguiente teniendo en consideración si lo programado dentro de ese día se cumplió o no, para así replantear la programación para el día siguiente o mantener lo establecido en la programación semanal.

Las reuniones diarias necesitan de dos recursos para desarrollarse, los planos son parte de estos recursos y aporta a la visualización rápida y efectiva de los trabajos en los distintos frentes que vengán ejecutándose en el día que transcurrió y en los días próximos, mientras los reportes de avance de los trabajos del día y el avance programado para el día siguiente serán plasmados en las órdenes de trabajo, donde se involucra la firma del ingeniero de campo y del maestro de obra para la conformidad a lo pactado en programación y en ejecución.

Estas órdenes de trabajo deben de llegar donde los jefes de los frentes de trabajo, para involucrar a todos los interesados en este proceso de trabajo, ellos serán los que tengan conocimiento de la cantidad de trabajo a producir en la jornada y al final de la misma hacer entrega de las órdenes de trabajo al maestro de obra con el reporte del avance producido en la jornada.

5. Análisis de restricciones

El análisis de restricciones es la herramienta que sostiene la confiabilidad del Lookahead Planning, como se detalló en ese punto es importante tener en el horizonte de tiempo del lookahead la variabilidad de sucesos y ocurrencias que presente el proyecto para contrarrestar cada inconveniente con un plan de acción, de esta forma el análisis de restricciones aparta los efectos de la alteración de sucesos y ocurrencias en el proyecto para dar credibilidad a cada planificación y programación que se desarrolle.

El lookahead de obra es acompañado por el análisis de restricciones para una visualización en obra rápida y efectiva de las restricciones presentadas con su plan de acción y el responsable de ejecutarla, de igual forma la empresa genera un segundo modelo en formato Excel donde figura la restricción, su código, dueño, plan de acción y fecha planificada, la fecha real y los días de retraso sino se cumplió con la fecha planificada, este formato en digital presenta los

porcentajes de nivel de cumplimiento del levantamiento de restricciones y los porcentajes de los niveles de compromisos de los dueños de las restricciones.

El análisis de restricciones en obra se da en la reunión semanal de producción, los días lunes de cada semana, el procedimiento es revisar las actividades de la nueva semana que entra al lookahead para la proposición o no de restricciones y hacer el seguimiento a las restricciones ya planteadas en las semanas anteriores, para que de esta manera cuando se proceda con la programación semanal se tengan un grupo de actividades para programar sin restricciones.

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES							
PROYECTO: MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO				NÚMERO DE SEMANA: 18			
CLIENTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOÑA				FECHA: Lunes, 05 de Marzo			
COD.	RESTRICCIÓN	DUEÑO	PLAN DE ACCIÓN	FECHA ACORDADA	CHECK	FECHA REAL	DÍAS DE RETRASO
R001	Cisterna de agua malograda	Mauricio	Reparar máquina	06.02.2018	OK	06.02.2018	0
R002	Volquete malogrado	Mauricio	Reparar máquina	07.02.2018	OK	07.02.2018	0
R003	Volquete sin operador	Mauricio	Solicitar operador de volquete	06.02.2018	OK	06.02.2018	0
R004	Chofer de camioneta y camioncito	Justo	Solicitar choferes	08.02.2018	OK	08.02.2018	0
R005	Ausencia de nivelador	Jorge	Presencia de Michael en obra	06.02.2018	NO	08.02.2018	2
R006	Nuevo personal obrero	Alberto	Personal operativo en obra el lunes 19 de febrero	17.02.2018	OK	17.02.2018	0
R007	Motofumigadora malograda	Mauricio	Llegada a obra de nueva motofumigadora	19.02.2018	OK	19.02.2018	0
R008	Herramientas para línea de conducción	Alberto	Llegada a obra de herramientas para perforaciones profundas en línea de conducción	22.02.2018	OK	22.02.2018	0
R009	Materiales para asfalto	Alberto	Llegada a obra de insumos para reposición de asfalto	24.02.2018	NO		
R010	Abastecimiento de material base para colocación de afirmado	Jorge	Autorización de extracción de Cantera "Pueblo Viejo"	01.03.2018	NO	03.03.2018	2
R011	No presencia de subcontratista para las voladuras en la línea de conducción	Jorge	Coordinar con el subcontratista los trabajos a realizar	02.03.2018	OK	02.03.2018	0
R012	Falta de cemento	Alberto	Llegada a obra de 250 bolsas de cemento	05.03.2018	OK	05.03.2018	0

Figura 18. Análisis de restricciones del Lookahead Planning del proyecto (Fuente. Marquisa)

6. Análisis de causa raíz

Hasta este punto del cuarto capítulo, se muestran las etapas de la filosofía Lean Construction para una mejora en el proceso de producción en la construcción, sin embargo, esta filosofía como las demás que buscan mejoras en la productividad, añade el proceso de mejora continua. La filosofía Lean Construction adhiere el proceso de mejora continua por ser un proceso importante en el desarrollado por la Toyota Production System (TPS), de donde de igual forma se usaron las herramientas para la mejora en el proceso de producción.

El análisis de causa raíz es la herramienta necesaria para la aplicación de la mejora continua. El procedimiento para esta herramienta es enlistar de manera genérica los problemas que se susciten durante la ejecución de la obra y dar soluciones a cada uno de estos inconvenientes para contrarrestarlos.

Cuando se desarrolla el análisis de causa raíz se registran los problemas que ocurren en la realización de la obra y esta acción va hacer el primer camino para la generación de la concientización de todos los involucrados en el proyecto. La concientización forma parte de la mejora continua porque al identificar un problema se toman las medidas necesarias para dar solución y evitar que nuevamente se presente la misma dificultad, esta acción según el Lean

Construction lleva a una especialización en la metodología adecuada para la ejecución de la construcción.

A continuación, se presenta el formato de seguimiento de análisis de causa raíz para cada problema identificado cada vez que se desarrolló esta herramienta en la ejecución de la obra, el mismo contempla la causa raíz y la estrategia de solución a aplicarse al día siguiente mismo de identificada la dificultad. Para el término del proyecto, se realiza esta misma práctica de mejora continua bajo el nombre de lecciones aprendidas, en este punto se engloba todo el proyecto desarrollado y se retroalimenta a la empresa para la mejora continua de la misma.

Se aprecia en el formato de seguimiento de análisis de causa raíz la identificación del sistema o componente de la actividad donde ocurrió el problema, el tipo de causa raíz del problema, el responsable en la aplicación al plan de acción y la fecha de inicio a la estrategia de solución.

ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ							
PROYECTO: MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO					NÚMERO DE SEMANA: 19		
CLIENTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOÑA					FECHA: Lunes, 12 de Marzo		
SEMANA	PROBLEMA IDENTIFICADO	FASE / COMPONENTE	CAUSA RAÍZ	TIPO DE CAUSA RAÍZ	ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN	DUEÑO	FECHA DE INICIO DE ACCIÓN
Semana 13	Incumplimiento con los lotes planeados de excavación en red de alcantarillado	Sistema de Alcantarillado	Se realizó una mala gestión sin considerar el cambio de operadores	PROG	Se coordinó con MyC prestar la excavadora un tramo más de buzón a buzón	Jorge Manrique	05.02.2018
Semana 14	Incumplimiento con los lotes planeados de excavación en red de alcantarillado	Sistema de Alcantarillado	La colocación de buzones no se puede realizar con anterioridad	PROG	Programación de trabajos para el fin de semana para realizar esta actividad	Santiago Ascona	12.02.2018
Semana 16	Desabastecimiento de combustible	Dpto. Administrativo	Órdenes de compra de combustible pasadas sin pagos efectuados	ADM	Coordinación con oficina central de Arequipa	Alberto Cornejo	26.02.2018
Semana 18	Incumplimiento con los lotes planeados de excavación en línea de conducción	Línea de Conducción	La excavadora no se encontró 100% operativa	EQ	Cambio de excavadora	Mauricio Márquez	12.03.2018
Semana 18	Incumplimiento con los lotes planeados de excavación en línea de aducción	Línea de Aducción	Se realizó una mala programación considerando la dificultad de excavación manual	PROG	Regado constante en la zona de trabajo y aumento de personal para los trabajos	Santiago Ascona	12.03.2018

Figura 19. Análisis de causa raíz del proyecto (Fuente. Marquisa)

7. Productividad

7.1. Curvas de productividad

Las curvas de productividad permiten el control de la productividad a los trabajos de obra, se compara lo diagramado en el dimensionamiento de cuadrillas con el desenvolvimiento de las cuadrillas en la ejecución de las actividades.

El control de la productividad pasa por registrar diariamente los metrados alcanzados y las horas hombres gastadas en cada una de las actividades de la obra, de esta manera se consiguen los ratios de la ejecución de obra y se procede a la comparación de los ratios de productividad obtenidos con los ratios de productividad presupuestados.

Se debe desarrollar esta comparación de ratios de productividad, pues esto se debe a la variabilidad de ocurrencias que se dan en obra, la producción diaria puede variar por el daño de una máquina necesaria para la producción de ese trabajo, también pueden variar las horas

hombre por la falta de un trabajador o por el aumento del personal de obra en esa cuadrilla de trabajo, por ello es necesario dar continuidad al dimensionamiento de cuadrillas con la comparación de los ratios de productividad ya mencionados. Las curvas de producción muestran todos estos efectos de la variabilidad expuesta para la visualización de los ratios de productividad reales y la medición de la productividad verdadera.

Como se aprecia en las siguientes figuras, se tienen las curvas diarias de producción con el registro diario de horas hombre, metrados ejecutados y ratios de productividad obtenidos, así como también de ratios de productividad acumulados para la comparación con los ratios presupuestados o ratios venta y así tener una proyección de las actividades en la obra.

Tabla 17

Cuadro de información de los ratios de productividad de una partida de línea de conducción

EXCAVACIÓN DE ZANJA

Personal	2.5 hombres
Metrado	2062.5 m

	Semana 7						Semana 8				
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
	18.Dic	19.Dic	20.Dic	21.Dic	22.Dic	23.Dic	26.Dic	27.Dic	28.Dic	29.Dic	30.Dic
Horas hombre	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	13.8	21.3	21.3	21.3	21.3	13.8
Horas hombre acumulada	197.5	218.8	240.0	261.3	282.5	296.3	317.5	338.8	360.0	381.3	395.0
Metrado	90.0	102.0	90.0	96.0	84.0	42.0	84.0	96.0	-	72.0	36.0
Metrado acumulado	886.5	988.5	1078.5	1174.5	1258.5	1300.5	1384.5	1480.5	1480.5	1552.5	1588.5
Ratio diario	0.236	0.208	0.236	0.221	0.253	0.327	0.253	0.221	-	0.295	0.382
Ratio acumulado	0.223	0.221	0.223	0.222	0.224	0.228	0.229	0.229	0.243	0.246	0.249
Ratio contractual	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320

Fuente. Propia (2019)

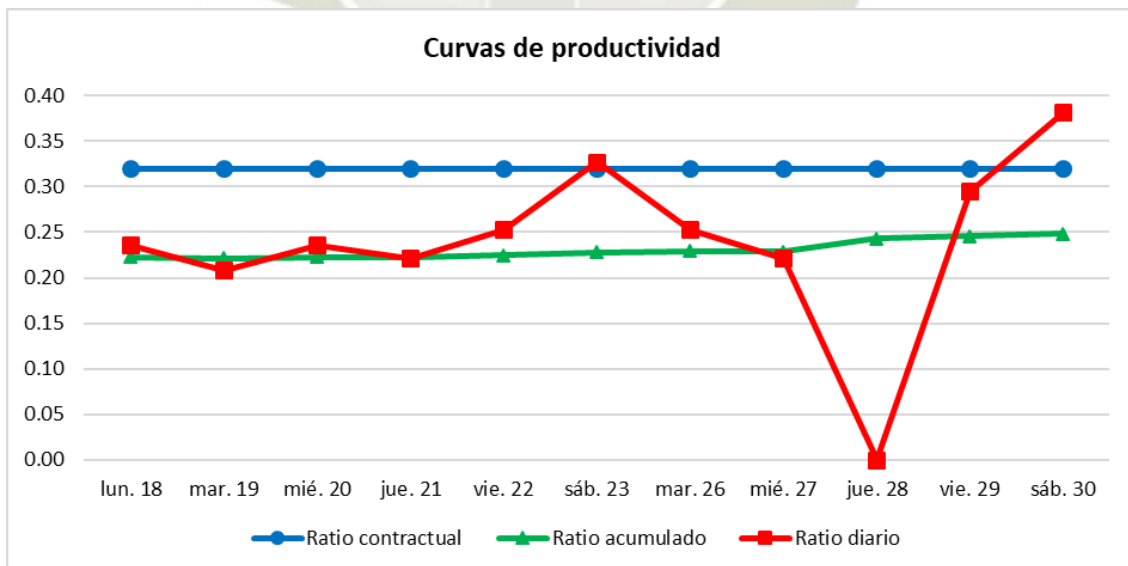


Gráfico 2. Curvas de productividad de una partida de línea de conducción (Fuente. Propia)

7.2. Nivel General de Actividades

El Nivel General de Actividades es otra herramienta propuesta por el Lean Construction, en este caso permite el conocimiento general de la productividad en el proyecto con indicadores

que muestran la eficiencia en la realización de los trabajos de la obra. El desarrollo de esta herramienta consiste en registrar mediciones de los trabajos productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC) en toda la obra para así lograr tener el indicador general del nivel de productividad.

El Nivel General de Actividades se desarrolla con una serie de mediciones que precisa el tipo de trabajo (TP, TC y TNC) que realiza cada personal de obra en el momento de la medición, se recomienda especificar los trabajos contributorios y trabajos no contributorios y no así los trabajos productivos, esto debido a que se generaría una lista larga de actividades complicando el análisis que se busca. Serpell hace mención a la necesidad mínima de 384 mediciones para tener confiabilidad en los resultados obtenidos, mediante la aplicación de la secuencia de Bernoulli demuestra que se requieren la mencionada cantidad de mediciones como mínimo para obtener una confiabilidad del 95% y un error no mayor del $\pm 5\%$, de esta manera en el proyecto se registran entre 390 y 450 mediciones. (Serpell, 2002, p.180)

Las mediciones se pueden realizar de diferentes maneras según la persona quien la desarrolle, sin embargo, debe de cumplirse que las mediciones sean considerando a todos los trabajadores. Esto se logra posicionándose desde un punto estratégico en la obra, para la visualización de todos los trabajos que se desarrollan en el momento de la medición o recorrer toda la obra y que las mediciones se realicen por zonas.

Antes del inicio de las mediciones se necesita de un trabajo previo, consiste en la preparación de plantillas para el registro en campo y en la elaboración de formatos para el registro computarizado, a su vez la identificación de las actividades que se encontrarán en obra al momento de las mediciones para agrupar y definir los grupos de TC y TNC, pues esto varía dependiendo de la obra que se desarrolle y de las actividades que se realicen. Al margen de tener trabajos como transporte y esperas, que se darán en todas las actividades que se ejecuten. Las mediciones se deben desarrollar en condiciones normales del proyecto y en distintos días de la semana para la obtención de datos más acordes a la realidad, se recomienda de esta manera puesto que los primeros días de la semana (lunes, martes y miércoles) se registra mayor productividad a diferencia de los últimos días de la semana (viernes y sábado).

En el proyecto en estudio se realizó el Nivel General de Actividades con las disposiciones expuestas y con la facilitación del formato elaborado por la empresa para este procedimiento.

n	Cuadrilla	TP	TC					TNC										
			I	T	M	L	X	E	D	V	R	N	O	Y				
1						X												
2		X																
3		X																
4									X									
5									X									
6									X									
7			X															
8			X															
9		X																
10		X																
11		X																
12									X									
13									X									
14			X															
15			X															
16		X																
17		X																
18									X									
19					X													
20		X																
21		X																
22									X									
23		X																
24		X																
25		X																
26			X															
27									X									
28		X																
29		X																
30		X																
31						X												
32			X															
33									X									
34									X									
35		X																
36									X									
37													X					
38													X					
39													X					
40									X									
41		X																
42		X																
43		X																
44										X								
45		X																
46									X									
47									X									
48									X									
49			X															
50		X																
51							X											
52		X																

Obra: Ocoña

Trabajos contributivos	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributivos	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

Figura 20. Formato del Nivel General de Actividades del proyecto (Fuente. Marquisa)

Como se aprecia se enlistan las actividades de los trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC), luego se les asignan una letra para ser precisados durante la medición y poder tener los resultados de los tiempos de cada una de estas actividades y proceder a las mejoras correspondientes. También se tiene una columna para colocar la cuadrilla a la cual se está realizando la medición, para en este caso tener resultados de la distribución del tiempo para cada partida que se ejecute; sin embargo, siendo estos resultados generales, es mejor recurrir a las Cartas de Balance donde se obtendrán resultados más completos de una partida en particular.

7.3. Cartas de Balance

La utilización de la herramienta de Cartas de Balance es muy importante en la conformación del Lean Construction para alcanzar efectividad en la gestión de proyectos, conjuntamente con las herramientas de Last Planner y la teoría de restricciones se alcanza ese propósito. La filosofía Lean Construction como se mencionó, busca ser un sistema de producción efectivo, para ello se debe mantener los flujos constantes, optimizar los flujos y optimizar los procesos. La continuidad de los flujos se alcanza con la implementación del Last Planner, seguidamente la optimización de los flujos se desarrolla con la teoría de restricciones y por último se logran procesos eficientes con la implementación de las Cartas de Balance.

Las Cartas de Balance toman un proceso o una partida en específico y la analiza desde la mano de obra, con el objetivo de conseguir los tiempos de los trabajadores en desarrollar cada actividad para alcanzar el proceso. Las actividades que se desarrollan se clasifican, al igual que la herramienta de Nivel General de Actividades, en trabajos productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC), pero en esta herramienta si se enlistan todas las actividades que se ejecutan dentro del proceso y se clasifican cada una de las actividades a que grupo de trabajo pertenece (TP, TC y TNC), debido al análisis que se quiere alcanzar, el cual se basa en los resultados de los tiempos de ejecución para cada actividad que demande la partida.

Procedimiento

El procedimiento es parecido a las mediciones que se desarrollan con la herramienta del Nivel General de Actividades, pero incluye ciertas consideraciones adicionales.

En el trabajo previo para la realización de la carta de balance, primeramente, se determina el proceso o la partida que se va analizar. Hay varias consideraciones para la determinación de la misma, una podrá ser la partida con mayor incidencia en el presupuesto, puesto que si se mejora se va lograr una mayor utilidad para la obra; otro criterio para la determinación de la partida podrá ser según los resultados operativos de la obra, ya que se pueden presentar pérdidas en ciertas partidas por un mal dimensionamiento de la cuadrilla o por una baja producción en los trabajos, en este caso la mejora será para corregir los errores que se están presentando en la obra. (Serpell, 2002, p.185)

Una vez elegida la partida a analizar, se desarrolla la identificación de los trabajos productivos, trabajos contributorios y trabajos no contributorios que contempla el proceso designado, para ello se recomienda una persona que tenga conocimiento del proceso constructivo o en su defecto realizar una visita previa para la observación de todo el proceso.

Seguidamente se asigna un número a cada una de las actividades que forman parte de la partida, esto es para que en las mediciones se asigne a cada trabajador el número que corresponde a la actividad que venga desarrollando.

Para finalizar el trabajo previo, se identifica a cada personal de obra integrante de la cuadrilla y se toma registro de sus nombres y apellidos y de la categoría a la cual pertenece. Nuevamente se recomienda que lo realice una persona familiarizada con el personal de obra para no tener complicaciones en la identificación de los mismos en el momento que se efectúen las mediciones.

CARTAS DE BALANCE

Obra	Ocoña	Trabajos productivos	
Frente	Red de alcantarillado	1	Nivelación
Partida	Excavación e instalación de tubería	2	Excavación de zanja
		3	Refine y cama
		4	Instalación de tubería
		5	
		6	
		7	
		8	
		9	
		10	
Fecha	15.02.2018	Trabajos contributorios	
Hora Inicio	08:40	I	Recibir/Dar instrucciones
Hora Fin	11:40	T	Transporte
		M	Mediciones
		L	Limpieza
		X	Otros
		X1	
		X2	
		X3	
		X4	
		X5	
Cuadrilla		Trabajos no contributorios	
Cargo	Nombre	E	Esperas
Operario	Juan Apaza	D	Descansos
Operador	Toribio Ccacya	V	Viajes
Peón 1	Aurelio Flores	R	Trabajos rehechos
Peón 2	Andres Huamani	N	Necesidades fisiológicas
Peón 3	Ernesto Medina	O	Tiempos ociosos
		Y	Otros
		Y1	
		Y2	
		Y3	

Figura 21. Datos generales en el formato de carta de balance del proyecto (Fuente. Marquisa)



Después del trabajo previo y con las plantillas listas, se procede a la toma de mediciones teniendo en consideración los siguientes puntos:

- ✓ La carta balance debe integrar máximo a diez (10) obreros, un número mayor complicaría las mediciones.
- ✓ Se ubica un punto preciso para la visualización de todos los integrantes de la cuadrilla.
- ✓ Las mediciones se deben de tomar cada minuto, pero podrá ser en un menor tiempo dependiendo de la cantidad de integrantes de la cuadrilla.
- ✓ El procedimiento es observar a cada integrante de la cuadrilla, identificar la actividad que realice cada uno y asignar a cada uno el número correspondiente a la actividad.
- ✓ Una medición se alcanza cuando todos los integrantes de la cuadrilla tienen la asignación de un número dependiendo de la actividad que efectúe.
- ✓ Las mediciones se completarán luego de tres (3) horas, llegando a tener 180 mediciones.

DATOS DE TIEMPO

	Operario Juan Apaza	Operador Toribio Ccacya	Peón 1 Aurelio Flores	Peón 2 Andres Huamani	Peón 3 Ernesto Medina							Tiempo Promedio (min)
1	E	2	E	2	E							1
2	E	2	E	2	E							1
3	E	2	E	2	E							1
4	I	2	E	2	E							1
5	I	2	E	2	E							1
6	I	2	E	2	E							1
7	I	2	E	2	E							1
8	I	2	E	2	E							1
9	I	2	E	2	E							1
10	I	2	E	2	E							1
11	I	2	E	2	E							1
12	I	2	V	2	V							1
13	E	2	L	2	V							1
14	E	2	L	2	L							1
15	E	2	L	2	L							1
16	E	2	V	2	L							1
17	E	2	T	2	L							1
18	E	2	T	2	L							1
19	L	2	L	2	L							1
20	L	2	L	2	T							1
21	E	2	T	2	T							1
22	I	2	E	I	T							1
23	I	2	3	I	N							1
24	I	2	E	I	N							1
25	E	2	E	2	N							1
26	E	2	E	2	E							1
27	O	2	2	2	E							1
28	O	2	2	2	E							1
29	O	2	2	2	E							1
30	E	2	2	I	E							1
31	E	E	E	E	E							1
32	I	E	E	M	E							1
33	E	2	E	2	E							1
34	I	E	E	M	E							1
35	E	3	E	I	E							1
36	I	3	E	M	E							1
37	1	3	E	3	E							1
38	3	3	E	3	E							1
39	3	3	E	3	1							1
40	4	E	E	E	4							1
41	4	E	E	E	4							1
42	1	3	E	E	E							1

Figura 22. Formato de Carta Balance del proyecto (Fuente. Marquisa)



CAPITULO V
RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

1. Comparación de niveles de productividad

El Nivel General de Actividades proporciona las estadísticas del estado general de la productividad en la obra, estudiando la distribución del tiempo según la clasificación de los trabajos, en trabajos productivos (TP), trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC). La elaboración del Nivel General de Actividades en el proyecto en estudio, con el procedimiento descrito anteriormente, se consiguieron los siguientes resultados.

Datos generales de las mediciones

En el proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña) se registraron las mediciones en tres oportunidades, la obra tenía en ejecución tres componentes: línea de conducción, redes de agua potable y conexiones, y redes de alcantarillado y conexiones, así los registros de las mediciones sucedieron el martes 9, jueves 11 y miércoles 17 de enero de 2018.

Entonces, las partidas que se tenían en ejecución al momento de proceder con la medición para el Nivel General de Actividades fueron las siguientes:

- Trazo y replanteo
- Excavación de zanja
- Refine, cama e instalación de tuberías y accesorios
- Relleno protector y relleno final
- Eliminación y acarreo de material
- Prueba hidráulica y anclaje de accesorios
- Colocación de afirmado

Teniendo las partidas expuestas se puede describir una lista de los trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC) de cada una de las partidas que serán registradas en las mediciones. Si bien, es dificultoso manejar todas las actividades teniendo varias partidas, es más manejable agruparlo por similitud para disminuir el número de TC y TNC por adjudicar. Esto en mayoría, se presenta en los trabajos contributivos, por ese motivo en las mediciones se usan grupos de actividades a nivel general.

Conforme a las partidas planteadas, se agrupan las actividades en los trabajos contributivos y trabajos no contributivos.

- Trabajos contributivos
 - Recibir/Dar instrucciones
 - Transporte
 - Mediciones

- Limpieza
- Otros
- Trabajos no contributivos
 - Esperas
 - Descansos
 - Viajes
 - Trabajos rehechos
 - Necesidades fisiológicas
 - Tiempos ociosos
 - Otros

NIVEL GENERAL DE ACTIVIDADES

Obra	Ocoña	Partidas	
Componente	Agua potable y alcantarillado	1	Trazo y replanteo
Frente		2	Excavación de zanja
		3	Refine, cama e instalación de tuberías
		4	Relleno protector y relleno final
		5	Eliminación y acarreo de material
		6	Prueba hidráulica
		7	Colocación de afirmado
		8	
		9	
		10	

Fechas	
	09.01.2018
	11.01.2018
	17.01.2018

Trabajos contributivos	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributivos	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	



Figura 23. Datos generales en el formato de Nivel General de Actividades del proyecto (Fuente. Marquisa)

Estas actividades enlistadas y agrupadas se deben presentar en la plantilla de registro de campo, puesto que es importante tener la consideración de cada una de ellas en las mediciones.

Resultados generales

Las mediciones realizadas presentaron en el proyecto en estudio los siguientes resultados, haciendo mención que se efectuaron 390 mediciones, superando las 384 mediciones como mínimo planteadas en el estudio de Serpell para que las estadísticas presentadas sean válidas.

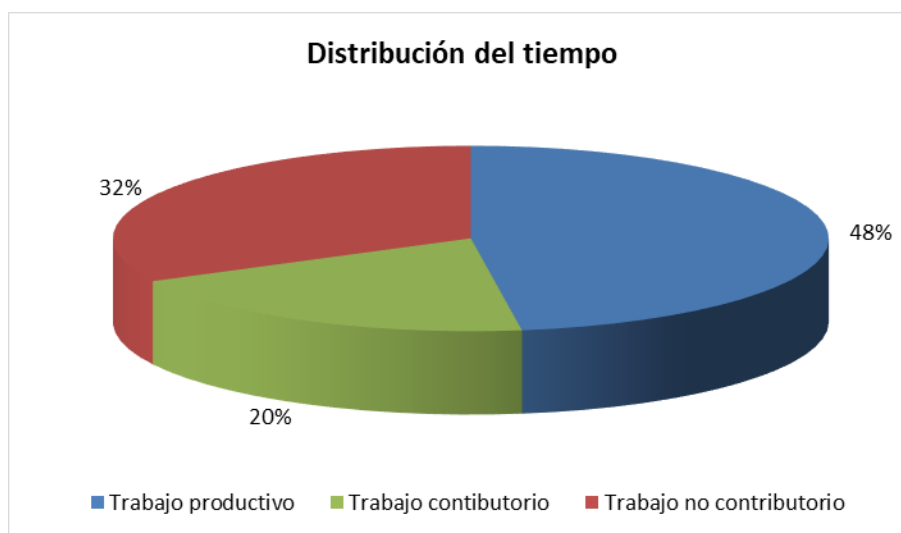


Gráfico 3. Nivel General de Actividades del proyecto (Fuente. Propia)

Se hizo mención en los objetivos de este trabajo, la evaluación de la influencia de la implementación y aplicación del sistema de planificación Lean Construction en el proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña), uno de los indicadores de esta evaluación es verificar y confirmar la diferencia de niveles de productividad en un proyecto bajo la implementación y aplicación del sistema de planificación expuesto, y los proyectos desarrollados de manera convencional. Como punto de inicio, se compararán estos niveles de ocupación de tiempo con los presentados por Virgilio Ghio en su libro *Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuesta*, publicación del 2001, un estudio basado en cincuenta (50) obras de la ciudad de Lima. También la comparación de estos índices será con el trabajo de Morales y Galeas, una tesis de pregrado del año 2006, este estudio se realiza en torno a veintiséis (26) obras de la ciudad de Lima; por último, se comparará la distribución del tiempo con mediciones más recientes, como es el trabajo de Arias y López, tesis de pregrado del año 2016, referido a cinco (5) obras de la ciudad del Cusco. Es necesario señalar que las clasificaciones de las actividades realizadas deben mantener una misma similitud o casi misma similitud con las clasificaciones que se presentan en los estudios propuestos, esta razón es para no tener resultados diferentes que se reflejen en comparaciones distorsionadas.

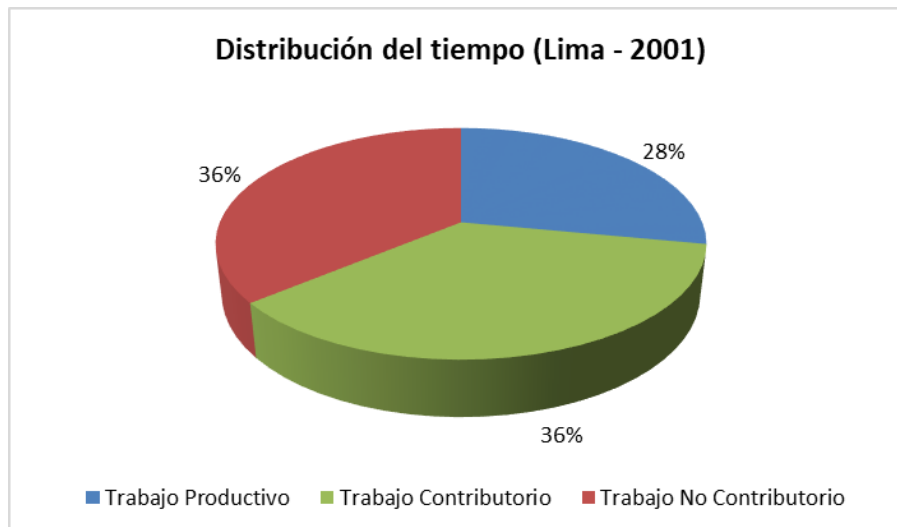


Gráfico 4. Resultado de la ocupación del tiempo en cincuenta (50) obras de Lima (Fuente. Ghio, 2001, p.45)

En la primera estadística mostrada en el último gráfico, se presenta la ocupación del tiempo o el nivel general de actividad del estudio de Virgilio Ghio en cincuenta (50) obras en Lima (28% TP, 36% TC y 36% TNC), demostrando un bajo nivel de producción en la construcción en la capital del país. La realización de actividades que agregan valor se encontraba por debajo de la tercera parte del total de tiempo empleado para la producción de los trabajos, en el mismo estudio de Virgilio Ghio se muestran los índices de producción promedio de Chile, siendo el porcentaje de 47% en trabajos productivos, números que llamaban más la atención en la metodología de producción de las obras en nuestro país.

En esos años el conocimiento del sistema de planificación Lean Construction en el país era muy escaso, la difusión de la filosofía comienza su inicio en Lima con la empresa CVG Ingenieros, quienes desarrollan herramientas para aumentar la productividad en empresas constructoras, agrupando las herramientas propuestas por el Lean Construction y herramientas propias adecuadas a la realidad del país.

Después de unos años, el sistema de planificación Lean Construction alcanza el conocimiento en empresas constructoras, que implementan en sus proyectos las herramientas propuestas por esta filosofía. Sin embargo, su correcta implementación y aplicación es limitada y aún en estos días lo es, por lo que el interés de las empresas constructoras está.

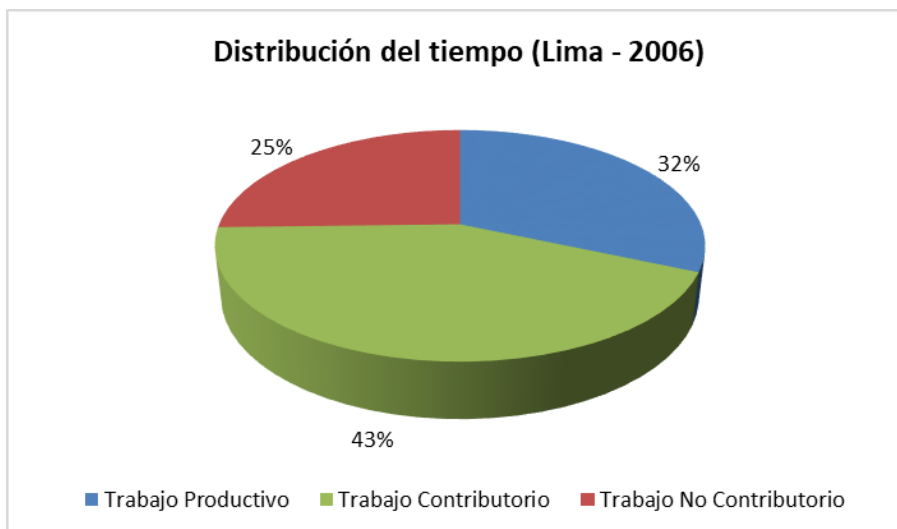


Gráfico 5. Resultado de la ocupación del tiempo en veintiséis (26) obras en Lima (Fuente. Morales y Galeas, 2006, p.46)

Con estos avances en la difusión del Lean Construction, en el 2006 se presenta el estudio de Morales y Galeas, un registro de veintiséis (26) obras en Lima con un leve avance en la ocupación del tiempo, aumentan los trabajos productivos y disminuyen los trabajos no contributorios, a pesar de ello, aun los índices estaban por debajo de los números registrados en Chile, por ejemplo.

Las herramientas y los conceptos del sistema de planificación Lean Construction como metodología para generar valor y disminuir pérdidas se hace más presente en la capital del país, y también en otras ciudades. En el estudio de Arias y López del año 2016, basado en cinco (5) obras de la ciudad de Cusco se visualiza una mejora importante en los porcentajes de ocupación de tiempo, sin embargo, aun comparando con las estadísticas del estudio en Chile, la misma refleja que las mejoras en la implementación y aplicación deben continuar.

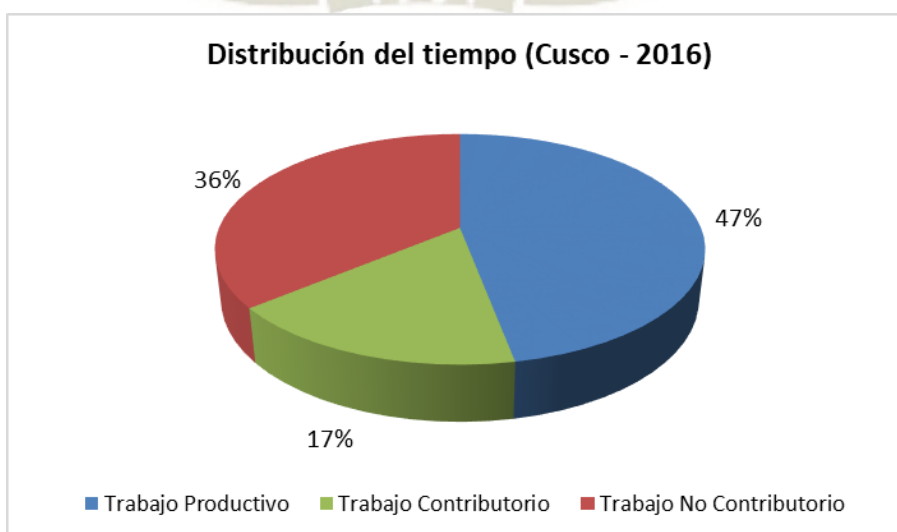


Gráfico 6. Resultado de la ocupación del tiempo en cinco (5) obras en Cusco (Fuente. Arias y López, 2016, p.44)

Contrastando estos últimos registros de Nivel General de Actividades en las obras de Cusco, se tiene un porcentaje del 48% en trabajos productivos para el proyecto en estudio, mientras en ese entonces, se registraba un porcentaje promedio del 47%. Para el caso de los trabajos no contributorios del proyecto en estudio se alcanza el índice de 32%, siendo menor al índice promedio de 36% presentado en el estudio más reciente. Ambas comparaciones permiten sustentar que debido a la implementación y aplicación de las herramientas y conceptos del sistema de planificación Lean Construction se puede registrar porcentajes promedios superiores en los trabajos productivos e inferiores en los trabajos contributorios y no contributorios en comparación al promedio de proyectos en el país. De esta manera se logra desarrollar lo establecido en la filosofía Lean, incrementar las actividades que agregan valor mediante los trabajos productivos y simultáneamente disminuir pérdidas mediante los trabajos contributorios y trabajos no contributorios.

En el libro Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuesta, Virgilio Ghio expone mediciones de Chile con los siguientes resultados promedios:

Tabla 18
Resultado de la ocupación del tiempo en Chile

	TP	TC	TNC
Distribución del tiempo (Chile)	47%	28%	25%

Fuente. Ghio (2001)

Con la probabilidad que las mediciones realizadas en ese estudio tomaran las mismas consideraciones en cuanto a concepto refiere para los TP, TC y TNC, entonces, comparando el proyecto en estudio con los resultados promedios del estudio de Chile se puede observar la falta de mejora en los trabajos no contributorios. Aunque se registre un mejor porcentaje en trabajos productivos, 48% contra 47%, y mejor control del desperdicio en trabajos contributorios, porcentaje de 20% en el proyecto en estudio frente al porcentaje promedio de 28% registrado en Chile. De este modo, la corrección necesaria es transformar el desperdicio de los trabajos no contributorios en trabajos productivos y así poder generar más valor.

En la difusión de Virgilio Ghio, de la filosofía Lean Construction, cuenta en su libro que las empresas con rango de porcentajes entre 40% y 50% en trabajos productivos pueden registrar valores de 50% a más, combatiendo la grasa interna, a la cual se enfrenta con herramientas de gestión de operaciones. De esta forma, las herramientas del sistema de planificación Lean nos sirve de instrumento para eliminar las grasas o pérdidas internas y poder superar los niveles del 50% en trabajos que agreguen valor. A pesar de ello, la mejora continua debe seguir, aunque

sea más dificultoso el trabajo, se narra en el libro sobre cambios en el diseño mismo de los proyectos.

Resultados disgregados

En el procedimiento detallado del Nivel General de Actividades se especificó el tratamiento para los trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC), las mismas actividades se detallan y se asignan una a una para conseguir las estadísticas de la ocupación del tiempo dentro de la clasificación de los trabajos TC y TNC. Desarrollando dicha manera se alcanzaron los siguientes resultados.

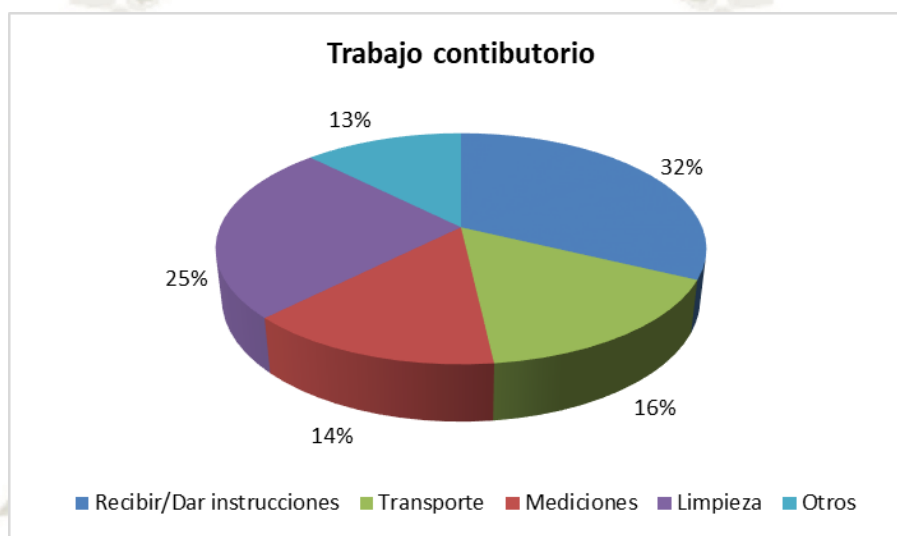


Gráfico 7. Distribución del tiempo entre los trabajos contributorios del proyecto (Fuente. Propia)

Del gráfico de la figura anterior se aprecia que la mayor cantidad de tiempo ocupado en trabajos contributorios se registran en recibir y/o dar instrucciones, y en limpieza, teniendo los porcentajes de 32% y 25% respectivamente. Para completar el total del porcentaje de los trabajos contributorios, las cantidades se reparten de manera similar en las demás actividades. Estos resultados presentados permiten identificar los puntos para encontrar las mejoras correspondientes, se registran las actividades a las cuales se tiene que atacar para conseguir reducir los trabajos contributorios, los mismos son trabajos necesarios para el desarrollo de la obra, pero para la filosofía Lean Construction los mismos no agregan valor y por ende se debe de disminuirlos. Los resultados desagregados no tienen la competencia de compararse con otros registros, debido a la forma en que cada proyecto agrupa sus trabajos contributorios y a la diferencia de partidas en ejecución al momento de la medición del Nivel General de Actividades.

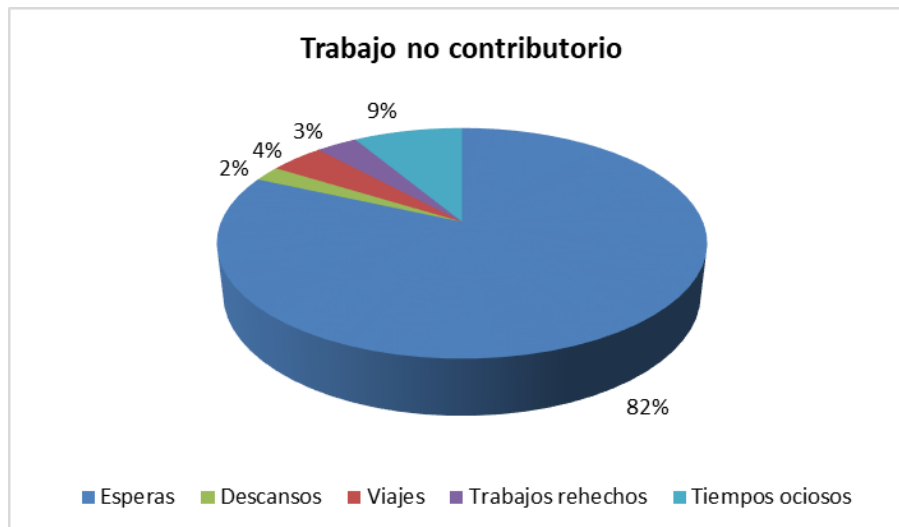


Gráfico 8. Distribución del tiempo entre los trabajos no contributivos del proyecto (Fuente. Propia)

En los trabajos no contributivos los resultados permiten visualizar donde se concentran las pérdidas que se registra en obra y de esta manera poder mitigarlos para el beneficio del proyecto. En el proyecto en estudio la gran parte de ocupación de tiempos de trabajos no contributivos se concentran en las esperas, un 82% para esta actividad que no genera ningún valor a la obra. La segunda concentración de tiempo perdido registrado son los tiempos ociosos, con un 9% del total, sin lugar a dudas la eliminación de las esperas y tiempos ociosos son prioritarias, son esas las pérdidas que se presentan. Esta gran cantidad de tiempo perdido fue corregido en obra con la modificación del takt time, se aumentó la cantidad de trabajo en los lotes de producción para que de esta manera las cuadrillas siguientes no esperen el término de la cuadrilla predecesora y generar un trabajo más continuo.

2. Optimización de procesos

La definitiva herramienta para lograr un sistema de producción eficiente es mediante la optimización de los procesos que conforman el sistema de la filosofía Lean Construction. En esta situación, se dispone de las Cartas de Balance, procedimiento por el cual se permite el análisis a detalle de cada partida o proceso y se obtienen los resultados que faciliten llegar a la optimización en producción y en costos.

Este objetivo de las Cartas de Balance, de optimizar los procesos necesita aplicarse en las partidas donde genere beneficio en el proyecto, para ello es necesario analizar en qué procesos es necesaria la aplicación de esta herramienta.

Datos generales

Para el proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña) se analizaron dos partidas dentro de un mismo proceso en el componente de redes de

alcantarillado y conexiones: la partida de excavación de zanja y la partida de refino, cama e instalación de tuberías. Estas dos partidas por proceso de construcción conformaban un proceso conjunto, y la determinación para su estudio en las Cartas de Balance era por la casi igualdad entre el ratio planificado y el ratio contractual, este proceso se tenía que optimizar para no generar pérdidas al proyecto en el caso la planificación diaria no se llegara a cumplir.

Analizando el proceso conformado por las dos partidas mencionadas se enlistan las actividades que conforman los trabajos productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC), resultando en este estudio de la siguiente manera:

Tabla 19
Distribución de las actividades de la partida

Trabajos productivos		Trabajos contributorios		Trabajos no contributorios	
1	Nivelación	I	Recibir/Dar instrucciones	E	Esperas
2	Excavación de zanja	T	Transporte	D	Descansos
3	Refino y cama	M	Mediciones	V	Viajes
4	Instalación de tubería	L	Limpieza	R	Trabajos rehechos
5		X	Otros	N	Necesidades fisiológicas
6		X1		O	Tiempos ociosos
7		X2		Y	Otros
8		X3		Y1	
9		X4		Y2	
10		X5		Y3	

Fuente. Propia (2019)

En el procedimiento a detalle de las Cartas de Balance se indicó que la cantidad de integrantes de la cuadrilla de la partida no debe superar el máximo de diez (10) obreros, de la misma forma se plasma en este estudio, este proceso lo integran cinco (5) personas (un (1) operario de instalación de tuberías, un (1) operador de excavadora y tres (3) peones ayudantes), sus cargos y sus nombres se detallan a continuación:

Tabla 20
Trabajadores integrantes de la partida

Cuadrilla	
Cargo	Nombre
Operario	Juan Apaza
Operador	Toribio Ccacya
Peón 1	Aurelio Flores
Peón 2	Andres Huamani
Peón 3	Ernesto Medina

Fuente. Propia (2019)

Resultados generales



Gráfico 9. Resultado de la ocupación del tiempo de la partida (Fuente. Propia)

Estos últimos resultados expuestos muestran la necesidad de un análisis para la optimización de este proceso en estudio, debido al elevado porcentaje de trabajos no contributorios, con el valor de 40%, siendo este índice mayor al porcentaje promedio registrado en el Nivel General de Actividades del proyecto, cuyo valor es de 32%, por lo cual hay un extenso margen por mejorar.

Posterior a la lectura de los índices del nivel general del proceso, identificando el problema con el elevado porcentaje en los trabajos no contributorios, se procede a hacer hincapié en los resultados individuales de cada trabajador integrante de la cuadrilla, con el objeto de encontrar las medidas justas y necesarias que permitan optimizar el proceso en estudio.

Resultados individuales

A continuación, se muestran los resultados de la distribución del tiempo de cada uno de los trabajadores integrantes de la cuadrilla del proceso en estudio.

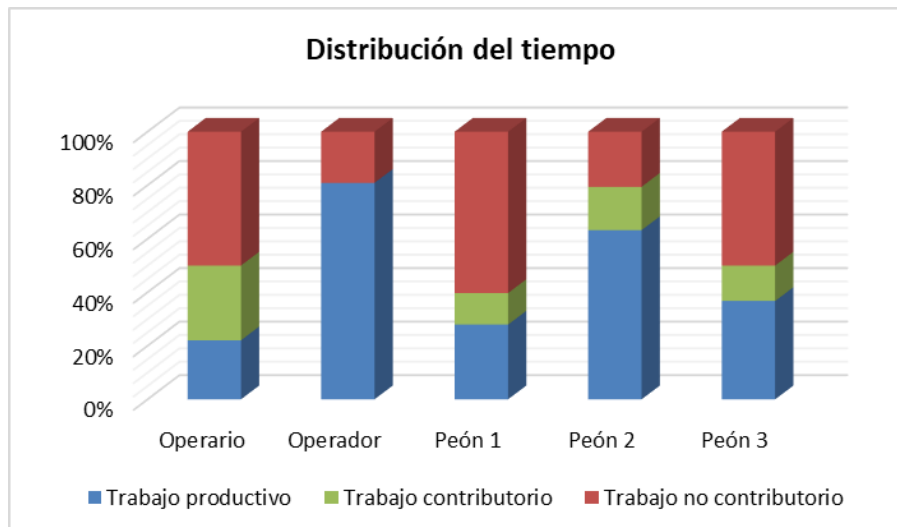


Gráfico 10. Resultado de la ocupación del tiempo de los trabajadores de la partida (Fuente. Propia)

Conclusiones

En la examinación de los resultados que se registraron en cada trabajador integrante de la cuadrilla del proceso analizado se presentan altos porcentajes en los trabajos no contributorios, estos números indican que en la ejecución de estas dos partidas existen circunstancias que influyen negativamente en la producción de la cuadrilla. La circunstancia principal que se observó en este proceso es la demora existente por la espera en la culminación de la excavación a cargo de la excavadora, para continuar con la instalación de tubería.

Reparando en los últimos números presentados, tres de los cinco trabajadores presentan un alto nivel en los trabajos productivos, teniendo porcentajes entre el 37% y el 80%, mientras que los dos integrantes restantes tienen los porcentajes del 22% y 28%. Del grupo de obreros que tienen un alto nivel en los trabajos productivos, dos de ellos registran valores elevados en los trabajos no contributorios (porcentajes del 21% y 50%), no obstante, contrario al elevado índice de TP, el trabajo se tiene que distribuir de una mejor manera para todos. Empero, el punto crítico del proceso se registra en los trabajadores integrantes con porcentajes del 50% al 60% en los trabajos no contributorios, a pesar de cumplirse los rendimientos programados, estos índices reflejan que la cuadrilla está sobredimensionada o en su defecto tiene mal distribuida las tareas de cada integrante de la cuadrilla dentro del proceso de trabajo.

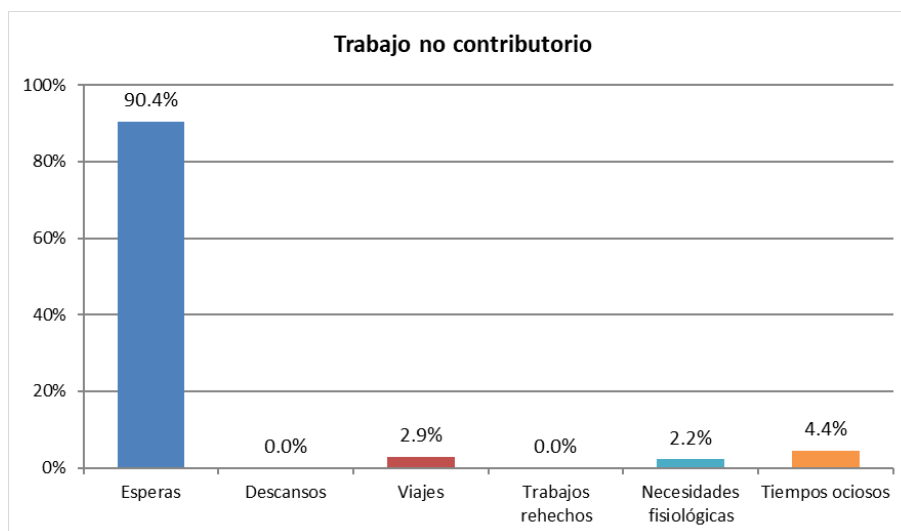


Gráfico 11. Distribución del tiempo entre los trabajos no contributivos de la partida (Fuente. Propia)

En el análisis general de los trabajos no contributivos se observa un valor mayor al 90% en los tiempos de espera, entonces la optimización para este proceso radica en la disminución del número de integrantes de la cuadrilla, esto es reducir un ayudante y repartir este trabajo dejado en los otros dos ayudantes, que también presentan trabajos no contributivos. Con esta medida se logró mantener la producción diaria con una menor cantidad de horas hombre.

3. Porcentaje de Plan Cumplido

El sistema de planificación Lean Construction precisa la necesidad de medir la performance de cada programa de trabajo semanal para poder valorar la confiabilidad de todo el proceso de planificación y programación sobre el proyecto. Estos indicadores producto de las mediciones es una buena forma de reflejar la influencia del sistema de planificación en la obra. De igual forma, los indicadores son el primer paso para aprender de las falencias y llevar a cabo las mejoras correspondientes, todo ello forma parte del indicador conocido como Porcentaje de Plan Cumplido (PPC). El PPC es la evaluación a la capacidad de anticipación que llegó a presentar el sistema de planificación al trabajo a realizar durante la semana siguiente. Vale decir, se realiza la comparación de lo que se desea hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente se hizo, de esta manera, va a reflejar la fiabilidad del sistema de planificación para la obra, esto es así porque los resultados dependen de la implementación y la aplicación a cada proyecto y de la capacidad de anticipación a los hechos justamente reflejado en cada programación semanal.

La experiencia en la implementación de este sistema de planificación establece que si se aumenta el nivel de cumplimiento de planificación es posible que se consiga acrecentar los niveles de productividad y que se presente en general un mejor desenvolvimiento en el

proyecto. La explicación por las mejoras se centra en que, por medio del aumento en el nivel de cumplimiento, se alcanza equilibrar el ambiente de trabajo del proyecto, generando de esta manera un ciclo hábil que va permitir una producción de forma continua, de método eficiente y sin interrupciones.

Para la generación del PPC se necesita el conocimiento del número de actividades completadas y el número de actividades programadas en el plan semanal de trabajo, este indicador se realiza para cada programación semanal, registrándose un resultado por semana a lo largo de la obra, por lo cual se genera un PPC acumulado o promedio.

$$PPC = \frac{\text{Número de actividades completadas}}{\text{Número de actividades programadas}}$$

La elaboración del PPC semanal se comienza con el planeamiento de la programación semanal, la misma con la que se comparará una vez culminada ese periodo de trabajo programado. Entonces, una vez completada la semana, se revisa si se realizó precisamente lo que se programó, esta verificación deberá ser por cada sector programado y no por frentes o grupos de actividades. A cada metrado diario del sector programado en la semana se asigna la calificación de 100% si es que se completó la totalidad de la tarea, en caso no sucediera esta situación la calificación viene ser del 0%, obteniéndose diariamente puntajes del 0% y del 100% únicamente. En algunos casos, la valorización de la actividad completada o no, se realiza solamente una por semana, siendo este valor el que represente lo realizado cada semana. Al desarrollar esta calificación con esta forma se permiten comparar los índices de cumplimiento con la de otros países que manejan este criterio.

Las actividades que no se llegan a completar en su totalidad diariamente tienen una explicación, las causas de incumplimiento se tienen que exponer y proceder a analizar seguidamente para poder encontrarle la vuelta a la situación de incumplimiento, y con el correr de las semanas revisar el progreso de estas actividades no completadas, buscando así el proceso de mejora. Finalmente, se hace el conteo de las actividades completadas en su totalidad y se divide con el total de actividades programadas, registrándose el resultado del PPC semanal.

Este proceso de obtención del porcentaje de cumplimiento se puede observar en el siguiente formato manejado en el proyecto en estudio, donde se visualizan las calificaciones diarias a cada actividad y se registra el índice del PPC semanal, también se observan otros registros, como los avances acumulados anteriores y los avances acumulados posteriores al término de la semana programada.

MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LAS LOCALIDADES DE OCOÑA, PROVINCIA DE CAMANÁ - AREQUIPA

FECHA: Lunes, 19 de Febrero
ING. RESPONSABLE: ING. JORGE BRYANN MANRIQUE RIVERA
LAST PLANNER: ING. SANTIAGO ASCONA FLORES

Descripción	Unidad	Metrado Total	Metrado acumulado anterior	Porcentaje de metrado completado anterior	SEMANA 16														CUMPLIMIENTO			CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO	TIPO DE CAUSA
					lun 19.02		mar 20.02		mié 21.02		jue 22.02		vie 23.02		sáb 24.02		dom 25.02		Plan Semanal de Producción	Avance Real	PPC		
					Plan Semanal de Producción	Avance Real	Plan Semanal de Producción	Avance Real	Plan Semanal de Producción	Avance Real	Plan Semanal de Producción	Avance Real	Plan Semanal de Producción	Avance Real	Plan Semanal de Producción	Avance Real	Plan Semanal de Producción	Avance Real					
LINEA DE CONDUCCION																							
HABILITACION DE DESVIOS																							
TRAMO CERRO																							
TRAMO 01 PROG 0+000 @ 2+962.50																							
MOVIMIENTO DE TIERRAS																							
TRAZO Y REPLANTEO	M	2,062.50	972.50	47.15%	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	20.00	20.00	20.00			220.00	200.00	NO	Falla mecánica en excavadora	EQ
EXCAVACION DE ZANJAS	M	2,062.50	972.50	47.15%	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	20.00	20.00	20.00			220.00	200.00	NO	Falla mecánica en excavadora	EQ
TUBERIAS Y ACCESORIOS																							
REFINE, CAMA E INSTALACION DE TUBERIA ACCESORIOS	M	2,062.50	752.50	36.48%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	20.00				270.00	270.00	SI		
TRAMO 03 PROG 4+125 @ 6+187.50																							
TRAMO DIQUE																							
TRAMO 05 PROG 8+250 @ 10+967.50																							
TRAMO 07 PROG 13+685 @ 16+402.50																							
LINEA DE ADUCCION L=561.38 m																							
BUZONES PREFABRICADOS																							
SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y CONEXIONES																							
TRABAJOS PRELIMINARES																							
TRAZO Y REPLANTEO	M	2,850.00	2,754.38	96.64%	30.00	30.00	30.00	30.00	35.62	35.62									95.62	95.62	SI		
CORTE Y DEMOLICION DE ASFALTO Y VEREDAS	M	2,850.00	2,754.38	96.64%	30.00	30.00	30.00	30.00	35.62	35.62									95.62	95.62	SI		
DEMOLICION DE BUZONES DE CONCRETO	UND	50.00	49.00	98.00%			1.00	1.00											1.00	1.00	SI		
MOVIMIENTO DE TIERRAS																							
EXCAVACION DE ZANJAS	M	2,850.00	2,522.48	88.51%	30.00	18.00	30.00	24.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	15.00	15.00				165.00	147.00	NO	Falla mecánica en retroexcavadora	EQ
BUZONES																							
IZAJE DE BUZONES Y MEDIA CANA	UND	57.00	48.00	84.21%	1.00	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				5.00	5.00	SI		
TUBERIAS Y ACCESORIOS																							
REFINE, CAMA E INSTALACION DE TUBERIAS	M	2,850.00	2,522.48	88.51%	30.00	18.00	30.00	24.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	15.00	15.00				165.00	147.00	NO	Falla mecánica en retroexcavadora	EQ
PRUEBA HIDRAULICA, ANCLAJE DE ACCESORIOS, LIMPIEZA DE ZONA DE TRABAJO	M	2,850.00	2,361.83	82.87%	30.00	18.00	30.00	24.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	15.00	15.00				165.00	147.00	NO	Falla mecánica en retroexcavadora	EQ
REPOSICIONES																							
RELLENO COMPACTADO, ELIMINACION Y AFIRMADO DE E=0.20M	M	2,850.00	2,262.03	79.37%	30.00	18.00	30.00	24.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	15.00	15.00				165.00	147.00	NO	Falla mecánica en retroexcavadora	EQ
REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE AGUA	UND	228.00	16.00	7.02%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00				11.00	11.00	SI		
REDES DE AGUA POTABLE Y CONEXIONES																							
TRABAJOS PRELIMINARES																							
TRAZO Y REPLANTEO	M	4,891.00	2,325.00	47.54%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	20.00				270.00	270.00	SI		
CORTE Y DEMOLICION DE ASFALTO Y VEREDAS	M	4,891.00	2,325.00	47.54%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	20.00				270.00	270.00	SI		
MOVIMIENTO DE TIERRAS																							
EXCAVACION DE ZANJAS Y EXCAV. DE CONEXIONES	M	4,891.00	2,122.00	43.39%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	20.00				270.00	270.00	SI		
TUBERIAS Y ACCESORIOS																							
REFINE, CAMA E INSTALACION DE TUBERIAS Y ACCESORIOS	M	4,891.00	2,032.00	41.55%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	20.00				270.00	270.00	SI		
REPOSICIONES																							
RELLENO COMPACTADO, ELIMINACION Y AFIRMADO DE E=0.20M	M	4,891.00	1,991.00	40.71%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	20.00				270.00	270.00	SI		
REPOSICIÓN DE VEREDAS Y CAJAS DE AGUA	UND	335.00	16.00	4.78%	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00				16.00	16.00	SI		
TRABAJOS VARIOS																							

TOTAL DE ACTIVIDADES PLANIFICADAS	98
NUMERO DE ACTIVIDADES CUMPLIDAS	88
NUMERO DE ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS	10
PPC	89.8%

Figura 24. Análisis de confiabilidad del proyecto (Fuente: Marquisa)

Una vez presentado el procedimiento para encontrar el PPC semanal, es necesario centrar los análisis en los resultados expuestos en el proyecto en estudio, tras la implementación y la aplicación del sistema de planificación Lean Construction mediante sus conceptos y herramientas propuestas. Este análisis contempla veintiún (21) semanas de trabajo, en el cual se desarrollaron los componentes mencionados (línea de conducción, línea de aducción, redes de agua potable y conexiones, y redes de alcantarillado y conexiones).

Tabla 21
Resultados del PPC semana a semana del proyecto

Semana	Actividades Programadas	Actividades Completadas	PPC Semanal	PPC Promedio
Semana 4	41	33	80%	73%
Semana 5	42	42	100%	84%
Semana 6	80	78	98%	90%
Semana 7	91	85	93%	91%
Semana 8	94	81	86%	90%
Semana 9	81	74	91%	90%
Semana 10	128	122	95%	91%
Semana 11	121	121	100%	93%
Semana 12	109	105	96%	93%
Semana 13	99	97	98%	94%
Semana 14	93	91	98%	94%
Semana 15	115	115	100%	95%
Semana 16	98	88	90%	94%
Semana 17	94	91	97%	95%
Semana 18	83	77	93%	94%
Semana 19	73	72	99%	95%
Semana 20	60	58	97%	95%
Semana 21	20	19	95%	95%
Semana 22	12	12	100%	95%
Semana 23	19	15	79%	95%
Semana 24	25	23	92%	95%

Fuente. Propia (2019)

En la tabla anterior se visualiza el PPC correspondiente a cada semana de producción y también el PPC acumulado o promedio del proyecto, mostrando el nivel de éxito en pronosticar la programación durante la obra; a continuación, se muestra un gráfico con las variaciones del PPC semanal acompañado con la evolución del PPC acumulado, así resultará más sencilla la visualización de los resultados obtenidos semana a semana.

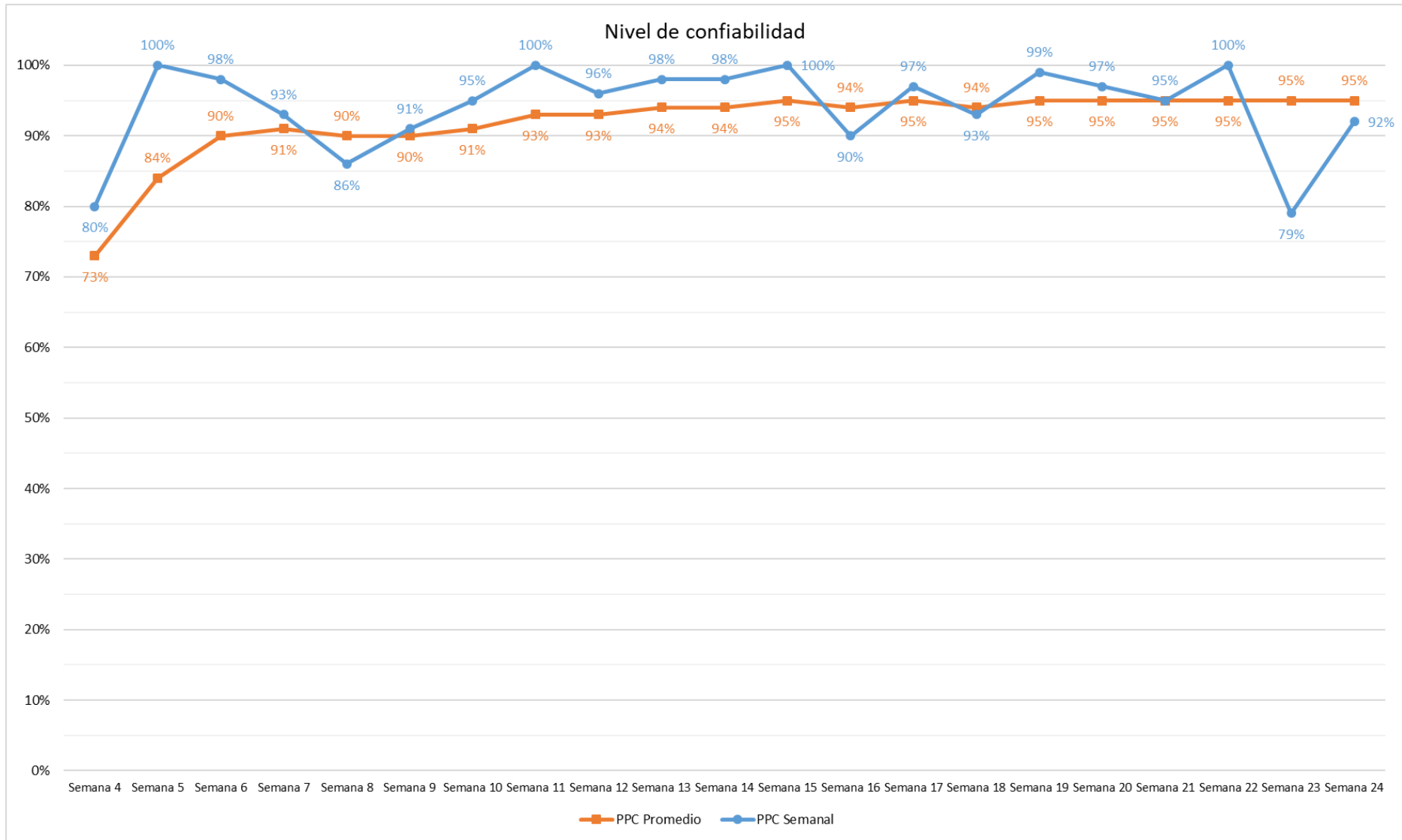


Gráfico 12. Nivel de confiabilidad del proyecto (Fuente. Propia)

En el último gráfico mostrado se puede visualizar que durante veintiún (21) semanas de trabajo se registró un porcentaje de cumplimiento no menor al 73%, además semana a semana se contabilizó que el 100% de las semanas computadas se contó con un PPC semanal igual o mayor al 67% de cumplimiento. Este último número no resulta ser cualquier porcentaje, esto se debe a la afirmación de Ballard, la misma señala que la tercera parte de las veces no resulta completado el trabajo programado en una semana, trasladando esta aseveración como porcentaje de cumplimiento, son dos de tres actividades completadas, significando un porcentaje del 67%. Conforme a los estudios de Ballard, estos índices de PPC reflejan valores promedios de empresas constructoras con inicios en el sistema de planificación Lean Construction. En relación a ello, los índices que se obtuvieron en el proyecto en estudio muestran una mejora con la implementación y la aplicación de las herramientas del Last Planner.

Del mismo gráfico, se detalla que durante cuatro (4) semanas de las veintiún (21) semanas computadas, se registró el cumplimiento del orden del 100%, realizando todas las actividades programadas. Estos porcentajes es el indicador más importante para orientar sobre cómo están resultando las programaciones semanales en obra, pues resulta sencillo programar de tal manera que se consigan PPC semanales con porcentajes del 100%. En el supuesto caso de tener un registro con valores inmejorables de cumplimiento semana a semana, va generar la noción de que se viene programando trabajos menores a lo que realmente se puede desarrollar. En ese sentido, teniendo programaciones con las cantidades de trabajo justas se van a tener porcentajes de cumplimiento por debajo del 100%.

Por último, durante las veintiún (21) semanas de trabajo computadas se obtuvo finalmente un porcentaje de cumplimiento acumulado del 95%, reflejando buenos resultados por una mejora continua que sucedió semana a semana durante la ejecución de la obra, y mejora en la obtención de índices de cumplimiento en la empresa en comparación con anteriores proyectos, donde no se alcanzaban los mencionados porcentajes de cumplimiento.

3.1.Causas de incumplimiento

La construcción es una industria con los mayores índices de variabilidad existente, generando que no continuamente se puedan completar las actividades programadas para un periodo de tiempo; en ese sentido, el sistema de planificación Lean Construction desarrolla métodos para aminorar las influencias de la variabilidad, consiguiendo buenos resultados en los proyectos donde se aplicaron las metodologías, sin embargo sigue siendo difícil alcanzar la reducción de

las influencias de la variabilidad y por ende mejorar de forma sustancial el cumplimiento de las programaciones en la obra.

Las causas de incumplimiento conforman ese proceso que procura reducir los efectos negativos de la variabilidad de la construcción en las programaciones semanales de obra, buscando la razón por la cual una actividad no fue completada habiéndose programado oportunamente. La información obtenida en las causas de incumplimiento de cada actividad no culminada va a permitir el armado de cuadros estadísticos, que van a permitir la observación de los principales problemas que terminan afectando el desarrollo por completo de las actividades programadas en la obra.

Con los números y datos registrados de las causas de incumplimiento se empieza el proceso de mejora continua o lecciones aprendidas, en el cual se va buscar prevenir o resolver las influencias de la variabilidad que motivan las causas de incumplimiento en las actividades programadas, la experiencia en la aplicación de esta herramienta demuestra que una gran parte del porcentaje de las causas de no cumplimiento son causados por un grupo menor de problemas, a los cuales se tiene que hacer ahínco en resolverlos para tener mejoras en el PPC con el transcurrir del proyecto o para los proyectos siguientes.

Los datos obtenidos de las causas de incumplimiento necesarios para el armado de los cuadros estadísticos vienen a partir de un listado de causas de incumplimiento, el cual consiste en agrupar las posibles causas en grupos que representan un área que provocó el problema, así se va a tener el responsable a cargo de reducir o en sus posibilidades de eliminar dichas causas de no cumplimiento.

En el proyecto en estudio se tipificaron las causas de incumplimiento como sigue en el siguiente cuadro:

Tabla 22
Listado de causas de incumplimiento del proyecto

LISTADO DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO			
N°	CODIGO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	FFL	FALTA DE FRENTE LIBERADO	Causas que implican retraso en el cumplimiento de una actividad y que ocurren debido a que una actividad anterior no cumplió con su avance programado.
2	PROG	ERROR DE PROGRAMACIÓN	Todas las causas que implican errores en la programación, cambios en la programación, o mala utilización de las herramientas de programación (lookahead, análisis de restricciones y plan semanal). Aquí también se considera la mala estimación de rendimientos y el haber programado una actividad con restricciones.
3	EJEC	EJECUCIÓN	Causas que ocurren por errores de construcción, trabajos rehechos, que no permitieron ejecutar las otras actividades programadas en el plan semanal.
4	ING	INGENIERIA	Son las causas que corresponden a cambios en la ingeniería durante el desarrollo del plan semanal, incongruencias de los planos con la realidad de obra, y que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
5	MAT	MATERIALES	Todo lo que comprende llegada de materiales con especificaciones incorrectas, materiales dañados o robados y llegada de materiales de mala calidad que afecten el cumplimiento de actividades del plan semanal.
6	PER	PERSONAL	Todo lo que comprende inasistencia de personal, retraso en llegada de personal, personal sin procedimientos completados, sin SCTR, ni EPP y llegada de personal no adecuado, y que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
7	HER	HERRAMIENTAS	Todo lo que comprende fallas de herramientas, pérdidas de herramientas, herramientas con especificaciones incorrectas o herramientas en condiciones no óptimas. Y que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
8	EQ	EQUIPOS	Causas que implican averías o fallas en los equipos que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
9	SUB	SUBCONTRATAS	Todas las causas relacionadas a la falla en la entrega de algún recurso subcontratado o al atraso debido al no cumplimiento de alguna labor encargada a una subcontrata.
10	TOP	TOPOGRAFIA	Causas vinculadas a topografía, siempre y cuando sus actividades no pertenezcan a producción. Cuando haya atrasados debido a falta de replanteo topográfico, errores en niveles, errores en el trazo, etc., y que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
11	SEG	SEGURIDAD	Causas vinculadas a la falta de seguridad, paradas de seguridad, tiempo implicado en reinducciones, incidentes, accidentes, etc., y que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
12	CAL	CALIDAD	Causas de incumplimiento que corresponden a fallas o atrasos del área de control de calidad del proyecto, y que no permitieron el cumplimiento de las actividades programadas.
13	CLI	CLIENTE/SUPERVISIÓN	Causas que implican todo lo relacionado a compromisos del cliente que no fueron realizados, cambios o modificaciones que surgen a raíz de necesidades del cliente, aprobaciones y permisos que afecten el cumplimiento de actividades del plan semanal.
14	ADM	PROBLEMAS ADMINISTRATIVOS	Causas vinculadas a falta de pagos, malas coordinaciones, movilidad, etc., y que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semanal.
15	EXT	EXTERNO	Todas las causas que originan retrasos por razones climáticas extraordinarias o por eventos extraordinarios como marchas sindicales sin previo aviso, huelgas, etc.

Fuente. Marquisa (2018)

Una vez armado el listado de las causas de incumplimiento, se produce la calificación de cada una de las actividades no completadas que sucedieron durante la programación semanal, siguiendo las tipificaciones del listado de las causas de incumplimiento, esto se visualiza en el formato del PPC semanal.

Luego de la calificación de las causas de no cumplimiento para cada actividad no culminada, el desarrollo de la herramienta continúa con el conteo de cada grupo según se tipifica en el listado de las causas de incumplimiento, generándose los cuadros estadísticos de la semana.

Tabla 23
Conteo de las causas de incumplimiento de la semana 9

N°	CODIGO	NOMBRE	CONTEO	%
1	FFL	FALTA DE FRENTE LIBERADO		0%
2	PROG	ERROR DE PROGRAMACIÓN	3	43%
3	EJEC	EJECUCIÓN		0%
4	ING	INGENIERIA		0%
5	MAT	MATERIALES		0%
6	PER	PERSONAL		0%
7	HER	HERRAMIENTAS		0%
8	EQ	EQUIPOS	2	29%
9	SUB	SUBCONTRATAS		0%
10	TOP	TOPOGRAFIA		0%
11	SEG	SEGURIDAD		0%
12	CAL	CALIDAD	2	29%
13	CLI	CLIENTE/SUPERVISIÓN		0%
14	ADM	PROBLEMAS ADMINISTRATIVOS		0%
15	EXT	EXTERNO		0%
TOTAL			7	100%

Fuente. Propia (2019)

Los resultados semanales no necesariamente evidencian las deficiencias que sufre todo el proyecto, en este caso es una lectura a las complicaciones que se registraron en una programación semanal de trabajo, como se visualiza en la anterior figura, es el conteo de las causas de incumplimiento ocurridas durante la semana 9 del proyecto, donde sucedieron tres de las quince causas de no cumplimiento propuestas en el listado. Es así como en las anteriores y sucesivas semanas de trabajo pueden resultar registros de no cumplimiento diferentes a la presentada en la figura. Por esta razón, los resultados correspondientes a una semana son referenciales y para sacar conclusiones se debe recurrir a los resultados acumulativos. Por último, destacar que la cantidad de veces que se reitera una causa de incumplimiento no está relacionada con un impacto que registre el proyecto, puede darse una única causa de no cumplimiento que afecte considerablemente al proyecto, ya sea en costo o en plazo.

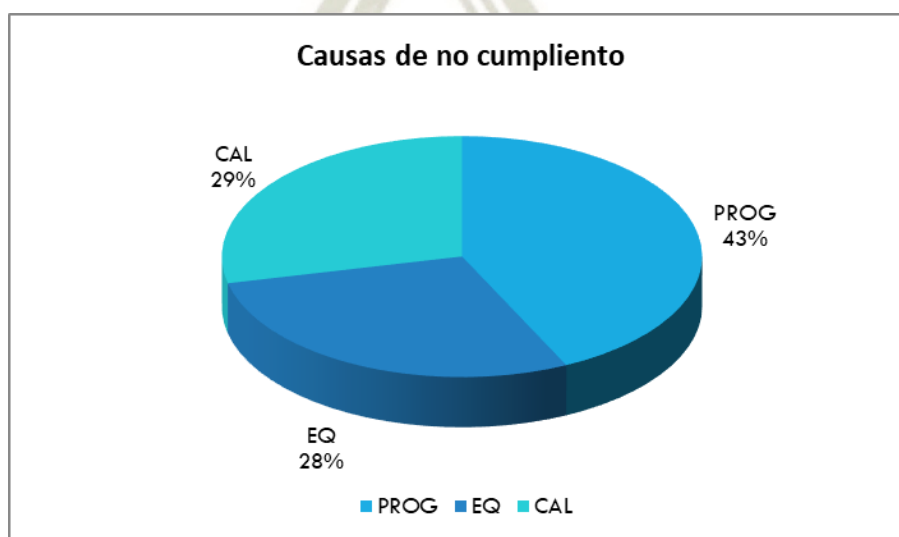


Gráfico 13. Causas de incumplimiento de la semana 9 en el proyecto (Fuente. Propia)

Este proceso estadístico debe desarrollarse semana a semana con cada programación semanal de obra, generando un nuevo cuadro que contemple el conteo de las causas de incumplimiento que se presentan cada semana de trabajo, para llegar a conseguir números finales de las causas de no cumplimiento en el proyecto. En ese sentido a continuación, se visualiza un cuadro con el registro semana a semana de las causas de incumplimiento que se presentaron en cada una de ellas, los resultados permitirán un conteo acumulativo que conducirá a una representación gráfica final de las causas de incumplimiento del proyecto.

Tabla 24
Causas de incumplimiento del proyecto

SEMANA	PPC SEMANAL	PPC PROMEDIO	FFL	PROG	EJEC	ING	MAT	PER	HER	EQ	SUB	TOP	SEG	CAL	CLI	ADM	EXT
SEMANA 04	80.5%	72.9%		4			1										
SEMANA 05	100.0%	84.2%															
SEMANA 06	97.5%	90.1%												1			
SEMANA 07	93.4%	91.2%														4	2
SEMANA 08	86.2%	89.9%		4						4							
SEMANA 09	91.4%	90.2%		3						2				2			
SEMANA 10	95.3%	91.3%		2						2							
SEMANA 11	100.0%	92.8%															
SEMANA 12	96.3%	93.3%						4									
SEMANA 13	98.0%	93.8%						2									
SEMANA 14	97.8%	94.2%	2														
SEMANA 15	100.0%	94.8%															
SEMANA 16	89.6%	94.4%								6							
SEMANA 17	96.8%	94.6%			3												
SEMANA 18	92.8%	94.4%		3						2							
SEMANA 19	96.6%	94.7%												1			
SEMANA 20	96.7%	94.7%								2							
SEMANA 21	95.0%	94.7%								1							
SEMANA 22	100.0%	94.8%															
SEMANA 23	78.9%	94.6%		4													
SEMANA 24	92.0%	94.5%		2													
TOTAL			2	22	3		1	6		19				4		4	2
PORCENTAJE			3.2%	34.3%	4.8%		1.6%	9.5%		30.2%				6.3%		6.3%	3.2%

Fuente. Marquisa (2018)

Entonces, de este último cuadro presentado se obtienen los números que permiten una visualización gráfica de las causas de incumplimiento, que darán inicio a un análisis de mejora que conduzca a mejores resultados en el proyecto actual como en los proyectos sucesivos.

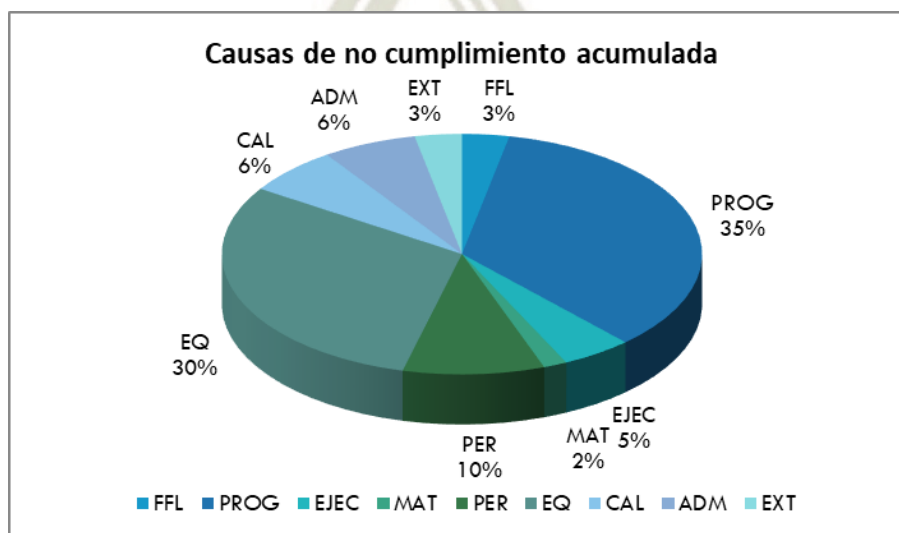


Gráfico 14. Causas de incumplimiento en el proyecto (Fuente. Propia)

La búsqueda de la metodología de las causas de incumplimiento es obtener conclusiones a partir de los resultados conseguidos, una de ellas es la observación de seis áreas sin participación en las causas de no cumplimiento, destacan entre ellas, las de herramientas y seguridad, esto indica que durante el proyecto se trabajó con las herramientas adecuadas para la realización de las actividades y acompañado de una eficiente gestión de seguridad.

Seguidamente se puede observar como un gran porcentaje de las causas de incumplimiento (75%) están englobadas en tres áreas, las cuales son: error de programación, personal y equipos, esto refleja que la mayor cantidad de fallas registradas en el proyecto fueron por errores en la programación y un incorrecto manejo en la mano de obra y equipos, por lo cual es necesario hacer hincapié en la programación, y en las áreas de recursos humanos y de equipos mecánicos, para de este modo conseguir la reducción de la cantidad de actividades incumplidas y alcanzar aumentar el nivel de confianza en las programaciones semanales que se visualizan en cada PPC semanal.

4. Curva de aprendizaje

La curva de aprendizaje es una herramienta añadida por la filosofía Lean Construction y aplicada en la construcción mediante el uso de la sectorización (reparto del trabajo en cantidades similares) y el tren de actividades (cuadrillas que hacen un solo trabajo). La utilización en conjunto de estas dos herramientas permite alcanzar un proceso de especialización de los trabajadores al realizar diariamente la misma actividad en cantidades similares, así acrecentando la eficiencia en la ejecución de los trabajos, la misma se puede constatar con la medición de los ratios de productividad durante el desarrollo de la obra.

A continuación, se analizan las partidas más representativas en el proyecto, como la excavación de zanja, y relleno protector y relleno final del componente de línea de conducción, y refino, cama e instalación de tubería del componente de redes de agua potable y conexiones.

Excavación de zanja

La partida de excavación de zanja del segundo frente del componente de línea de conducción comenzó en la semana 5 y finalizó en la semana 10, el ratio de productividad en la primera semana en esta partida fue de 0.252 hh/m, número por debajo del ratio contractual para la partida (0.320 hh/m). Con el avance semanal de los trabajos las mejoras se pueden apreciar, en la tercera semana se tenía un ratio acumulado de 0.235 hh/m y se finalizan los trabajos con un ratio acumulado de 0.224 hh/m en la sexta semana, estos números se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 25

Cuadro de información de la partida excavación de zanja

EXCAVACIÓN DE ZANJA	
Ratio contractual	0.320 hh/m
Personal	2.5 hombres
Porcentaje de aprendizaje	95 %

	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Horas hombre	52.5	145.0	110.0	57.5	57.5	40.0
Horas hombre acumulada	52.5	197.5	307.5	365.0	422.5	462.5
Metrado	208.5	606.0	492.0	288.0	272.0	196.0
Metrado acumulado	208.5	814.5	1,306.5	1,594.5	1,866.5	2,062.5
Ratio acumulado	0.252	0.242	0.235	0.229	0.226	0.224
Ratio teórico	0.252	0.240	0.233	0.229	0.225	0.223
Rendimiento acumulado	9.93	10.31	10.62	10.92	11.04	11.15
Rendimiento teórico	9.93	10.42	10.71	10.93	11.10	11.24

Fuente. Propia (2019)

Como se logra visualizar en el último cuadro, los ratios acumulados de la partida fueron bajando semana a semana, siendo estos números menores al ratio contractual de la partida. Según la teoría de la curva de aprendizaje, el porcentaje de aprendizaje es el porcentaje de tiempo en el cual se logra realizar el trabajo luego del doble de veces, para el caso de esta partida el porcentaje es del 95%, es decir cuando el trabajo se ejecutó “2n” veces, el tiempo que se empleó fue del 95% cuando se ejecutó el trabajo la “n” ves.

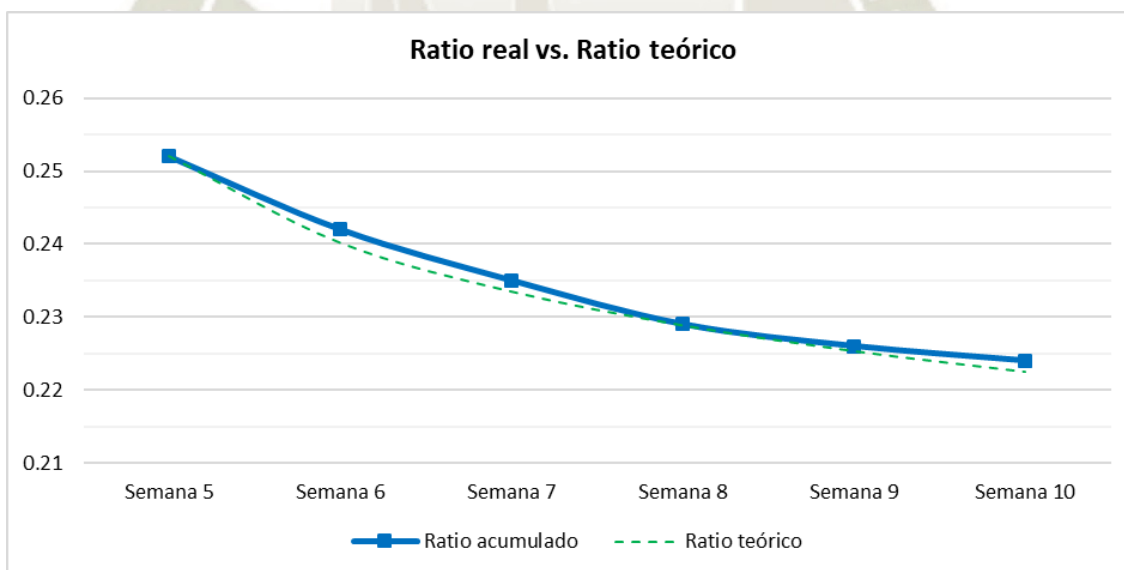


Gráfico 15. Curvas de ratios acumulados y teóricos de la partida excavación de zanja (Fuente. Propia)

En el último gráfico se representa la curva del ratio de productividad acumulado semana a semana de la partida (curva de color azul) y se compara con la curva de los ratios de productividad teórico (curva de color verde) que se consiguen en base al porcentaje de aprendizaje; en la misma se aprecia como ambas curvas se desarrollan de manera distinta cada semana, pero comparten la tendencia durante la ejecución de la partida, cumpliendo el ratio

acumulado con el porcentaje de aprendizaje. Se puede reflejar en ambas curvas como cada semana el tiempo que se emplea en realizar una unidad de trabajo va disminuyendo en concordancia a la curva de aprendizaje, por causa de la especialización de los trabajadores de la cuadrilla en la realización de la tarea.

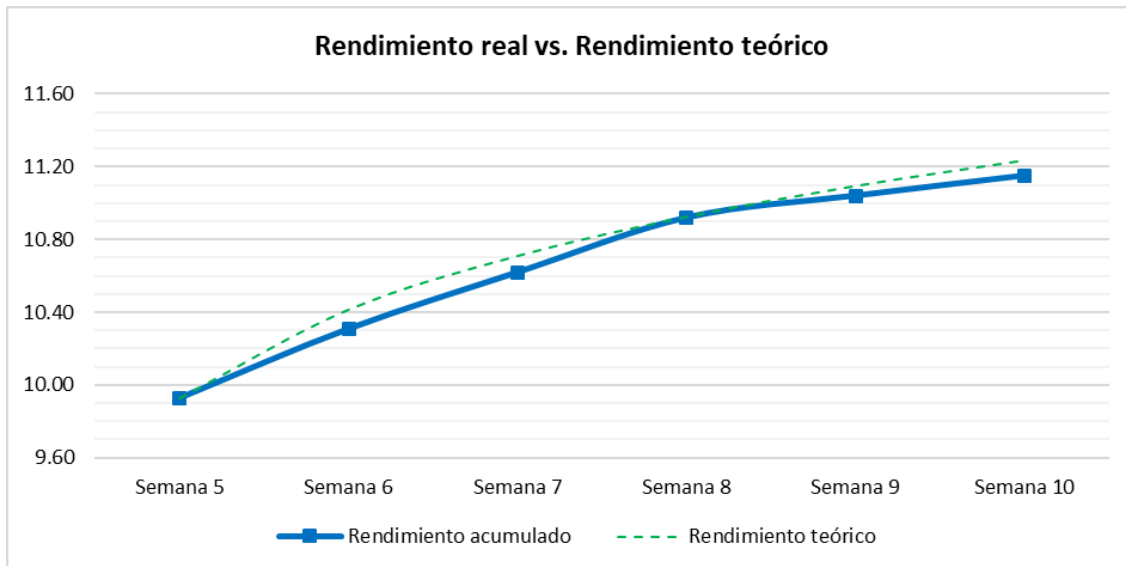


Gráfico 16. Curvas de rendimientos acumulados y teóricos de la partida excavación de zanja (Fuente. Propia)

En el gráfico anterior se visualiza la curva del rendimiento por hora diaria acumulado de cada semana y como mejora debido a la curva de aprendizaje, y al igual que en el caso de los ratios acumulados, esta curva de rendimiento acumulado se compara con la curva de los rendimientos teóricos, mostrándose la misma tendencia anterior, el rendimiento por hora aumenta siguiendo la curva de los rendimientos teóricos.

Con los gráficos presentados se alcanza a comprobar que el uso de las herramientas Lean Construction como la sectorización y el tren de actividades contribuyen en gran medida a la generación de la curva de aprendizaje en la construcción, esto se evidencia con el aumento de los rendimientos de obra, y en consecuencia con mejoras de la productividad. Es necesario destacar que la mejora de la productividad será el mecanismo por el cual aplicando estos procedimientos citados en cada partida ayudan a cumplir con el objetivo fundamental del proyecto, completar el mismo en el plazo y costo fijado.

Refine, cama e instalación de tubería

La partida de refine, cama e instalación de tubería del componente de redes de agua potable y conexiones tiene un primer inicio en la semana 8 y una primera finalización en la semana 13, teniendo un ratio de productividad acumulado inicial de 0.470 hh/m y un ratio de productividad acumulado final de 0.336 hh/m, los resultados permitieron alcanzar un porcentaje de

aprendizaje de orden del 88% (reducción de tiempos en el 88% cada vez que se hizo el trabajo el doble de las veces). En esta partida se observa que la curva de aprendizaje cumple todo el ciclo de perfeccionamiento antes que se termine la realización de las actividades. Eso quiere decir que alcanza rápidamente su tope de mejora y se mantiene así durante las demás semanas de trabajo, situación poco observada en otras partidas que recién al final de los trabajos lograban la reducción de sus ratios de productividad.

Tabla 26

Cuadro de información de la partida refine, cama e instalación de tubería

REFINE, CAMA E INSTALACIÓN DE TUBERÍA	
Ratio contractual	0.714 hh/m
Personal	4.5 hombres
Porcentaje de aprendizaje	88 %

	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13
Horas hombre	22.6	196.8	164.0	100.5	98.4	57.4
Horas hombre acumulada	22.6	219.4	383.4	483.8	582.2	639.6
Metrado	48.0	606.0	492.0	288.0	272.0	196.0
Metrado acumulado	48.0	654.0	1,146.0	1,434.0	1,706.0	1,902.0
Ratio acumulado	0.470	0.335	0.335	0.337	0.341	0.336
Ratio teórico	0.470	0.415	0.386	0.366	0.352	0.341
Rendimiento acumulado	9.58	13.42	13.45	13.34	13.19	13.38
Rendimiento teórico	9.58	11.47	12.75	13.74	14.56	15.26

Fuente. Propia (2019)

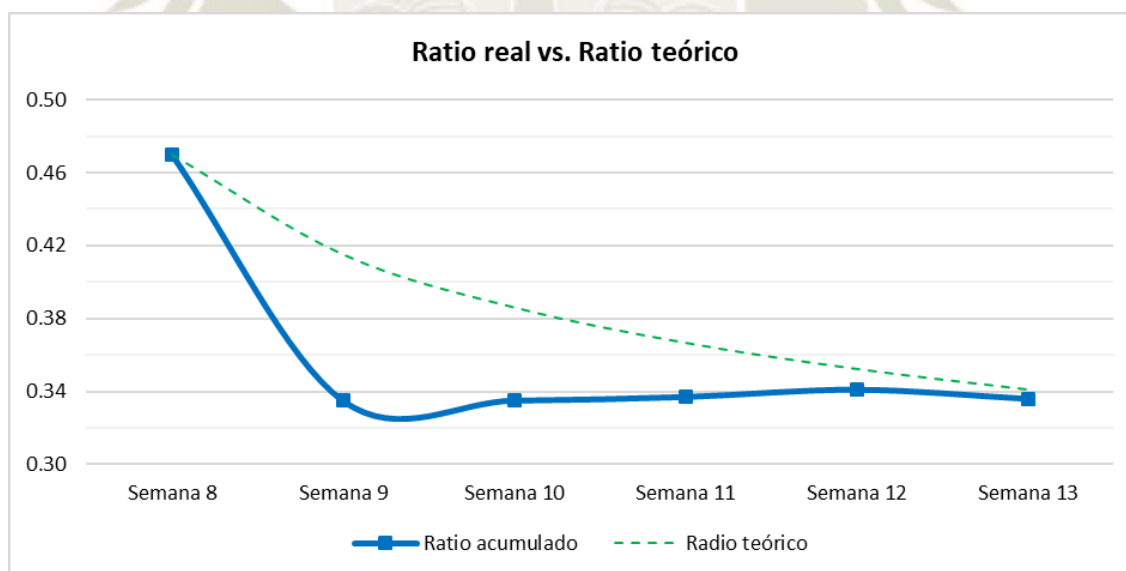


Gráfico 17. Curvas de ratios acumulados y teóricos de la partida refine, cama e instalación de tubería (Fuente. Propia)

Relleno protector y relleno final

La partida de relleno protector y relleno final del tercer frente del componente de línea de conducción inicia en la semana 11 con un ratio de productividad acumulado de 0.542 hh/m y termina en la semana 15 con un ratio de productividad acumulado de 0.487 hh/m; en esta

partida se registró un porcentaje de aprendizaje de orden del 97%. Sin embargo, en esta partida se aprecia un comportamiento distinto con los ratios de productividad acumulados a lo largo de las semanas de trabajo, mediciones que suben y bajan indistintamente como se visualiza en el siguiente gráfico.

Tabla 27

Cuadro de información de la partida relleno protector y relleno final

RELLENO PROTECTOR Y RELLENO FINAL

Ratio contractual	1.587 hh/m
Personal	4.1 hombres
Porcentaje de aprendizaje	97 %

	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15
Horas hombre	119.3	216.0	177.8	114.8	101.3
Horas hombre acumulada	119.3	335.3	513.0	627.8	729.0
Metrado	220.0	385.0	360.0	280.0	252.0
Metrado acumulado	220.0	605.0	965.0	1,245.0	1,497.0
Ratio acumulado	0.542	0.554	0.532	0.504	0.487
Ratio teórico	0.542	0.524	0.513	0.506	0.500
Rendimiento acumulado	7.56	7.40	7.71	8.13	8.42
Rendimiento teórico	7.56	7.85	8.03	8.15	8.25

Fuente. Propia (2019)

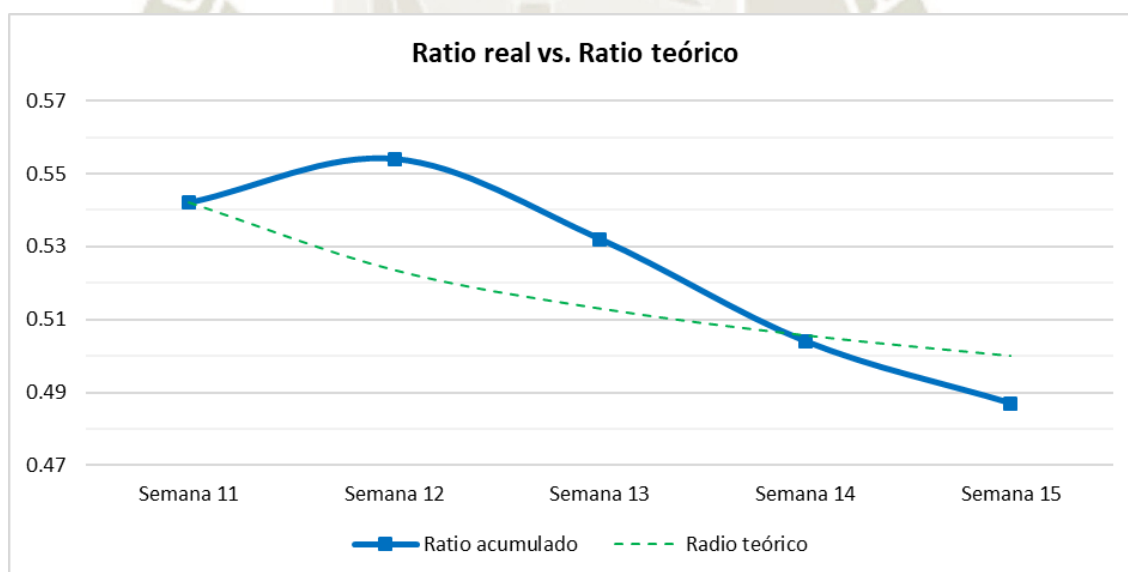


Gráfico 18. Curvas de ratios acumulados y teóricos de la partida relleno protector y relleno final (Fuente. Propia)

CONCLUSIONES

1. En el proyecto en estudio (Sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Ocoña) al evaluar la influencia del sistema de planificación Lean Construction, la implementación y la aplicación de ésta consiguió incidir positivamente en el proyecto, a través de la implementación y la aplicación de nueve herramientas, contempladas en tres fases del Lean Project Delivery System. El LPDS presenta cuarenta y dos herramientas distribuidas en cinco fases, y en el país, la filosofía Lean Construction se está produciendo sustancialmente en tres fases (ejecución Lean, control de producción y trabajo estructurado), debido a que las empresas constructoras aplican estas herramientas dentro de su ámbito de acción, la ejecución de obras. Siendo así, en el proyecto en estudio se emplearon nueve de las diecisiete herramientas a disposición de las tres fases del LPDS mencionadas, dentro de las mismas resaltan en importancia e impacto en el avance del proyecto: el Last Planner System en el control de producción y los First Run Studies en la ejecución Lean.
2. Con la aplicación de la herramienta First Run Studies se consiguió en la partida de refino, cama e instalación de tubería mejorar los ratios de productividad, la partida se inició con un ratio de productividad acumulado de 0.470 hh/m y terminó con un ratio de productividad acumulado de 0.336 hh/m, teniendo un porcentaje en la disminución de los tiempos de ejecución del 29%; vale decir, la productividad para la partida en mención se incrementó en el porcentaje del 29% con respecto al rendimiento alcanzado en la primera semana de trabajo, esto debido al porcentaje de aprendizaje obtenido, cuyo valor fue del 88%. Entonces, se alcanza a concluir que la herramienta First Run Studies, mediante la sectorización y el tren de actividades, permite conseguir desarrollar el concepto de la curva de aprendizaje, lográndose para el proyecto en estudio demostrar la mencionada teoría en tres partidas de la obra (excavación de zanja, refino, cama e instalación de tubería, y relleno protector y relleno final). Por consiguiente, la sectorización y el tren de actividades, propician alcanzar de una manera práctica y sencilla la planificación de todas las partidas que intervienen en el proyecto, al presentar un dimensionamiento de cuadrillas con la cantidad de mano de obra y equipos necesarios para cada actividad, fundamentado en los ratios presupuestados o ratios venta, valores que muestran el límite de la ganancia y la pérdida en los recursos de cada actividad del proyecto, todo esto antes del comienzo de los trabajos. Estas herramientas consiguen mejoras en el proyecto con respecto a las planificaciones tradicionales,

cambia de un sistema push a un sistema pull, que permite acortar los plazos de ejecución y mejorar los índices de productividad.

3. En el proyecto en estudio, a nivel general se obtuvieron los siguientes resultados de productividad: 48% en trabajos productivos, 20% en trabajos contributorios y 32% en trabajos no contributorios. Los porcentajes conseguidos mediante la aplicación de la herramienta Nivel General de Actividades pone de manifiesto las partidas que requieren un estudio a mayor detalle; esto mediante el desarrollo de la metodología de las Cartas de Balance, herramienta que facilita la eliminación de los trabajos no contributorios, la reducción de los trabajos contributorios y el aumento de los trabajos productivos. Con ello la importancia de la implementación y la aplicación del Lean Construction en las obras de construcción, son fundamentos que inciden en el manejo de la mano de obra y los equipos de las partidas del proyecto, con los mismos se evidencian un camino por mejorar, enfocando a la reducción de pérdidas, que deben continuar para poder alcanzar mejoras en el proceso de producción.
4. Las Cartas de Balance realizadas en las partidas de excavación de zanja, y refine, cama e instalación de tubería en el componente de redes de alcantarillado y conexiones, mostraron mediante los porcentajes de distribución de los trabajos (46% TP, 14% TC y 40% TNC) un sobredimensionamiento en la cuadrilla de la actividad mencionada, el mismo trabajo podría ser realizado con menos recursos de mano de obra, reportándose los mismos rendimientos y suscitando un ahorro para el proyecto. Por ello es necesario la utilización de las Cartas de Balance en las partidas más incidentes del proyecto, porque a pesar del dimensionamiento de cuadrillas inicial con sustento en los ratios presupuestados o ratios venta, se necesita observar y analizar en campo la interacción de todos los recursos (mano de obra y equipos) que contemplan la actividad para la realización de los trabajos, y poder tomar decisiones oportunamente en el armado de las cuadrillas. Los procesos de producción analizados en las Cartas de Balance, para su optimización, condujeron a una reducción en el número de mano de obra que conformaban la cuadrilla, pasando de cinco a cuatro trabajadores; lo que se observó fue un elevado porcentaje en los trabajos no contributorios por parte de dos de los tres ayudantes que integraban el grupo de trabajo en cuestión, se retiró a un ayudante a cargo de la tarea de la colocación de cama para la tubería, y dicha tarea se cubrió con los otros dos ayudantes a disposición, quienes tenían la función de asistir al operario en la instalación de la tubería y de asistir al operador de equipo en la excavación de zanja respectivamente. Este importante ajuste en la cuadrilla, conllevó a un ahorro económico

- del 20% en el costo directo de la mano de obra, solo para el grupo de trabajo en mención.
5. El Lookahead Planning del proyecto contempló cinco (5) semanas, y con un horizonte de cuatro (4) semanas de trabajo por delante se pudo identificar un total de cuarenta y cuatro (44) restricciones, completadas el total de estas, pero con un retraso en el cumplimiento del 30% del total, resultando la diferencia de este último porcentaje, las restricciones levantadas en tiempo y en forma. La variabilidad en el proyecto se contuvo mediante la aplicación del Last Planner System, se usaron todos los niveles de planificación y programación a disposición para poder cumplir con los plazos de entrega establecidos, esto se reflejó en el cumplimiento de las programaciones semanales, deducidas del Lookahead Planning, y el análisis de restricciones facilitó la concreción de las programaciones, al mostrar los principales impedimentos que presentaría el proyecto. Durante la ejecución de la obra, los dueños de las restricciones fueron un total de ocho (8) personas, siendo el responsable de equipo mecánico quien tuvo a su cargo más restricciones por liberar, fueron dieciséis (16) las restricciones, representando el 36% del total; el problema radicaba en el área mecánica de la empresa, quien no lograba completar los requerimientos solicitados en las fechas que la misma área disponía a proyecto.
 6. En el proyecto en estudio se registró un Porcentaje de Plan Cumplido final del 95% durante las semanas donde se ejecutaron los componentes de línea de conducción, línea de aducción, redes de agua potable y conexiones, y redes de alcantarillado y conexiones. El porcentaje alcanzado resultó más de lo esperado, en comparación con otros proyectos de saneamiento de la región, esto debido a la identificación y el análisis de las causas de incumplimiento halladas en cada programación semanal, son las alertas de los típicos problemas que se encuentran en obra, con ello se establecieron las acciones correctivas para desarrollar la mejora continua, principio que propone el Lean Construction. En proyecto se identificaron y analizaron sesenta y tres (63) causas de no cumplimiento, siendo en su gran mayoría errores en las programaciones semanales y deficiencias con los equipos mecánicos, dos tipificaciones que representaron el 65% del total de incumplimientos, y con cada programación semanal se trató de tomar lecciones aprendidas para evitar recurrir nuevamente en el mismo problema, de esa manera se pudo conseguir el mencionado PPC.

RECOMENDACIONES

1. La mejora en la productividad se alcanzó entre tanto con la aplicación de las Cartas de Balance, dicha herramienta permitió la identificación y la corrección de una cuadrilla sobredimensionada; esta medida no resta valoraciones a la teoría del dimensionamiento de cuadrillas, su sustento radica en los ratios presupuestados, entonces la teoría mencionada muestra su limitación una vez en campo se disponga de la interacción entre los trabajadores y los equipos mecánicos de la cuadrilla. En ese sentido, se recomienda que las Cartas de Balance se realicen en la inmediatez del inicio de las actividades, para poder así verificar el dimensionamiento inicial de la cuadrilla y tomar las decisiones oportunas de acuerdo a lo encontrado en el lugar de trabajo.
2. Más de la tercera parte de las restricciones suscitadas en el proyecto fueron por una falta de atención del área de equipo mecánico de la empresa a la obra, en ese sentido el suministro de los recursos no estuvieron de acuerdo a las planificaciones realizadas por el proyecto, por ello la recomendación de la implementación y la aplicación de la herramienta 5S, la cual involucra cinco palabras japonesas: seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke, siendo de acuerdo a su traducción: clasificar, organizar, limpiar, estandarizar y convertir esta secuencia en hábito. Con las enseñanzas de esta metodología se va lograr involucrar a todo el personal responsable del suministro al proyecto de los materiales y de los equipos mecánicos que requiera la obra, estas mejoras no solo afectarán a un proyecto, más bien por el contrario, serán nuevos hábitos que generen mejoras en todos los proyectos de la empresa.
3. Una de las conclusiones del presente trabajo mencionó la importancia en el cumplimiento de los plazos establecidos, esto se alcanzó por el desarrollo del análisis de las causas de no cumplimiento, herramienta que genera mayor credibilidad a cada lookahead generado en el Last Planner System. No obstante, el desarrollo de la mencionada herramienta Lean se puede complementar con el planteamiento de los cinco porqués, metodología que consiste en preguntar cinco veces el porqué de la causa de incumplimiento, hasta encontrar el real motivo que trajo consigo el no cumplimiento. Por esta razón se sugiere la realización de los cinco porqués, metodología añadida al análisis de las causas de no cumplimiento; teniendo como ejemplo el siguiente caso: en principio se identificó un incumplimiento con la llegada a obra de los accesorios codos y válvulas para la instalación de la tubería en la línea de conducción; como primera causa se puede señalar un pedido realizado fuera de los tiempos establecidos por el área de compras de la empresa, sin embargo, un análisis en detalle expondría que el

requerimiento no estuvo a tiempo, por lo tanto se tiene un problema de producción y no un problema de logística.

4. El traslado de los materiales de construcción del almacén de obra al tramo de los trabajos ocurría en el transcurso de la mañana de la jornada, destacándose las tuberías a instalar dependiendo del frente de trabajo, sin embargo, los diversos accesorios de tubería (codos y té) no eran comunes en los traslados, pero si materiales importantes para la colocación de la tubería; en ese sentido para evitar no tener el material en campo se recomienda la herramienta Kanban. La herramienta Kanban, término japonés que significa tarjeta o señal, es la metodología que controla el inventario a través del uso de tarjetas, para así producir solo lo que se necesite, cuando se necesite y en las cantidades adecuadas. Entonces, en proyectos de saneamiento esta herramienta puede ser útil para el transporte de los materiales, como es el caso de los accesorios para las tuberías, mediante el uso de las tarjetas Kanban se hace conocimiento al operario de la instalación de tubería, qué determinado día de trabajo necesitará en obra una determinada cantidad de accesorios, identificando las características del accesorio (tipo y material) y la progresiva donde corresponde su instalación, de esta forma llegado el día para su colocación se hace el respectivo retiro del material del almacén de obra para su transporte al área de colocación.

REFERENCIAS

- Araque, G. (2013). *Planeación e implementación de la filosofía Lean Construction en base al estudio de pérdidas y aplicación del sistema Last Planner en un proyecto constructivo de la empresa Marval S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Arias, E. & López, J. (2016). *Determinación de índices de productividad promedio en proyectos de saneamiento en la ciudad del Cusco* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Castillo, I. (2014). *Inventario de herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LDPS)* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castro, J. & Pajares, J. (2014). *Propuesta e implementación de sectorización y trenes de trabajo para acabados interiores bajo la filosofía Lean Construction, en obras de construcción de viviendas masivas* (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Chávez, J. & De la Cruz, C. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en una obra de edificación (caso: Condominio Casa Club Recrea - El Agustino)* (tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Corredor, G. & Rojano, A. (2009). *"Lean Construction" aplicada a proyectos de construcción de edificaciones de vivienda unifamiliar* (tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Flores, P. B. (2015). *Productividad e innovación en el abastecimiento de materiales utilizando la filosofía Lean Construction en edificaciones multifamiliares (caso: Proyecto Moon - Santiago de Surco - Lima)* (tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción. Diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú - FONDO EDITORIAL 2001.
- González, E. (2005). *Aplicación de la teoría de curva de aprendizaje a la construcción de proyectos de vivienda prefabricada en serie* (tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- INFOBRAS (2019). *INFOBRAS | Sistema Nacional de Información de Obras Públicas | Búsqueda avanzada*. Lima, Perú: Gobierno del Perú. Recuperado de <https://apps.contraloria.gob.pe/ciudadano/Default.aspx>.
- Jarrin, J. (2014). *Productividad del personal en la construcción de un proyecto arquitectónico* (tesis de postgrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

- La Construcción sin Pérdidas (2011). *Los 11 Principios brevemente explicados*. Andalucía, España: La Construcción sin Pérdidas. Recuperado de <https://construccionlean.wordpress.com>
- Lean Solutions (2018). VSM, Value Stream Mapping. Bogotá, Colombia: Lean Solutions. Recuperado de <https://leansolutions.co>
- Marquisa (2019). *Marquisa S.A.C. Contratistas Generales | Empresa | Nosotros*. Arequipa, Perú. Recuperado de <http://www.marquisa.com.pe/empresa/nosotros>.
- Merino, D. (2015). *Aplicación de la filosofía Lean para la mejora de la productividad en la estructura: reservorio elevado de la obra: instalación, ampliación y mejoramiento del servicio de agua potable y alcantarillado en los AA.HH. de las cuencas 1, 2 y 3 de la zona alta de la ciudad de Paita - Provincia de Paita - Piura, en el año 2014* (tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- Morales, N. & Galeas, J. (2006). *Diagnóstico y evaluación de la relación entre el grado de industrialización y los sistemas de gestión con el nivel de productividad en obras de construcción* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Ordoñez, J. C. (2015). Metodología Lean Construction: Hacia una edificación eficiente. *Revista Tecnológica*, 13(19), 24-27.
- Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid, España: Fundación Laboral de la Construcción.
- Porras, H., Sánchez, O. G., & Galvis, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11(1), 32-53.
- Programa Nacional de Saneamiento Rural (2014). *Programa Nacional de Saneamiento Rural | Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento | ¿Qué hacemos?* Lima, Perú: Gobierno del Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/4429-programa-nacional-de-saneamiento-rural-que-hacemos>.
- Programa Nacional de Saneamiento Urbano (2019). *Programa Nacional de Saneamiento Urbano | Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento | Reseña Histórica*. Lima, Perú: Gobierno del Perú. Recuperado de <https://www.pnsu.gob.pe/acerca-de-nosotros/resena-historica/>.
- Ramos, A. (2014). *Lean Construction*. Ica, Perú: SlideShare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/alfredoramosaq>
- Sarria, M. P., Fonseca, G. A., & Bocanegra-Herrera, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de Lean Manufacturing. *Revista EAN*, 1(83), 51-71.

- Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. Santiago de Chile, Chile: Alfaomega y Ediciones Universidad Católica de Chile
- Serrano, I. (2007). *Análisis de la aplicabilidad de la técnica Value Stream Mapping en el rediseño de sistemas productivos* (tesis de postgrado). Universidad de Girona, Girona, España.
- Torres, R. J. (2018). *Análisis y mejora de la productividad aplicando la filosofía Lean Construction en el mejoramiento de la Av. Pedro Miotta en San Juan de Miraflores – Lima* (tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.



ANEXOS

1. Nivel General de Actividades



NIVEL GENERAL DE ACTIVIDADES

Obra	Ocoña
Componente	Agua potable y alcantarillado
Frente	

Fechas	09.01.2018
	11.01.2018
	17.01.2018

Partidas	
1	Trazo y replanteo
2	Excavación de zanja
3	Refine, cama e instalación de tuberías
4	Relleno protector y relleno final
5	Eliminación y acarreo de material
6	Prueba hidráulica
7	Colocación de afirmado
8	
9	
10	

Trabajos contributivos	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributivos	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

n	Cuadrilla	TP	TC					TNC											
			I	T	M	L	X	E	D	V	R	N	O	Y					
1						X													
2		X																	
3		X																	
4									X										
5									X										
6									X										
7			X																
8			X																
9		X																	
10		X																	
11		X																	
12									X										
13									X										
14			X																
15			X																
16		X																	
17		X																	
18									X										
19					X														
20		X																	
21		X																	
22		X							X										
23		X																	
24		X																	
25		X																	
26			X																
27									X										
28		X																	
29		X																	
30		X																	
31						X													
32			X																
33									X										
34									X										
35		X																	
36									X										
37														X					
38														X					
39														X					
40									X										
41		X																	
42		X																	
43		X																	
44										X									
45		X																	
46									X										
47									X										
48									X										
49			X																
50		X																	
51							X												
52		X																	
53									X										
54									X										
55						X													
56		X																	
57		X																	
58		X																	
59									X										
60									X										
61									X										
62		X																	
63									X										
64			X																
65									X										
66		X																	
67						X													
68						X													
69										X									
70										X									
TOTAL		27	8		3	3	3		22	1		3							

Obra: Ocoña

Trabajos contributivos	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributivos	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

n	Cuadrilla	TP	TC					TNC								
			I	T	M	L	X	E	D	V	R	N	O	Y		
71								x								
72		x														
73								x								
74								x								
75		x														
76					x											
77		x														
78								x								
79		x						x								
80								x								
81				x												
82								x								
83				x												
84						x										
85								x								
86								x								
87						x										
88		x														
89		x														
90		x														
91		x														
92						x										
93		x														
94								x								
95								x								
96		x														
97		x														
98										x						
99		x														
100		x														
101		x														
102		x														
103		x														
104		x														
105								x								
106										x						
107				x												
108				x												
109		x														
110		x														
111		x														
112		x														
113		x														
114			x													
115			x													
116		x														
117		x														
118								x								
119		x														
120		x														
121								x								
122								x								
123		x														
124		x														
125		x														
126			x													
127								x								
128		x														
129		x														
130							x									
131		x														
132		x														
133							x									
134							x									
135		x														
136								x								
137								x								
138								x								
139		x														
140								x								
TOTAL		35	3	4	1	3	3	19		2						

Obra: Ocoña

Trabajos contributorios	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributorios	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

n	Cuadrilla	TP	TC					TNC								
			I	T	M	L	X	E	D	V	R	N	O	Y		
141								X								
142		X														
143		X														
144								X								
145								X								
146								X								
147		X														
148							X									
149								X								
150														X		
151		X														
152								X								
153								X								
154								X								
155														X		
156		X														
157		X														
158							X									
159							X									
160				X												
161										X						
162														X		
163														X		
164														X		
165								X								
166								X								
167								X								
168		X														
169		X														
170		X														
171										X						
172		X														
173		X														
174														X		
175		X														
176		X														
177										X						
178					X											
179					X											
180			X													
181										X						
182										X						
183		X														
184		X														
185		X														
186		X														
187		X														
188			X													
189		X														
190		X														
191		X														
192										X						
193		X														
194										X						
195							X									
196		X														
197										X						
198		X														
199							X									
200							X									
201		X														
202		X														
203				X												
204										X						
205		X														
206										X						
207		X														
208		X														
209										X						
210		X														
TOTAL		30	2	4	2	4	1	20		1				6		

Obra: Ocoña

Trabajos contributivos	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributivos	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

n	Cuadrilla	TP	TC					TNC									
			I	T	M	L	X	E	D	V	R	N	O	Y			
211						X											
212								X									
213										X							
214		X															
215		X															
216								X									
217		X															
218								X									
219		X															
220		X															
221		X															
222		X															
223		X															
224			X														
225		X															
226		X															
227		X															
228		X															
229		X															
230		X															
231								X									
232		X															
233		X															
234		X															
235			X														
236		X															
237		X															
238								X									
239		X															
240		X															
241							X										
242							X										
243			X														
244			X														
245															X		
246															X		
247		X															
248		X															
249		X															
250								X									
251		X															
252		X															
253		X															
254						X											
255		X															
256		X															
257		X															
258		X															
259								X									
260		X															
261								X									
262								X									
263									X								
264			X														
265		X															
266		X															
267								X									
268								X									
269						X											
270								X									
271		X															
272		X															
273							X										
274								X									
275		X															
276		X															
277		X															
278								X									
279								X									
280		X															
TOTAL		40	5		2	4		15	1	1					2		

Obra: Ocoña

Trabajos contributorios	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributorios	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

n	Cuadrilla	TP	TC					TNC											
			I	T	M	L	X	E	D	V	R	N	O	Y					
281		x																	
282		x																	
283		x																	
284				x															
285		x																	
286																			
287																			
288																			
289																			
290																			
291																			
292																			
293																			
294																			
295																			
296																			
297																			
298																			
299																			
300																			
301																			
302																			
303																			
304																			
305																			
306																			
307																			
308																			
309																			
310																			
311																			
312																			
313																			
314																			
315																			
316																			
317																			
318																			
319																			
320																			
321																			
322																			
323																			
324																			
325																			
326																			
327																			
328																			
329																			
330																			
331																			
332																			
333																			
334																			
335																			
336																			
337																			
338																			
339																			
340																			
341																			
342																			
343																			
344																			
345																			
346																			
347																			
348																			
349																			
350																			
TOTAL		4		1															

Obra: Ocoña

Trabajos contributivos	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

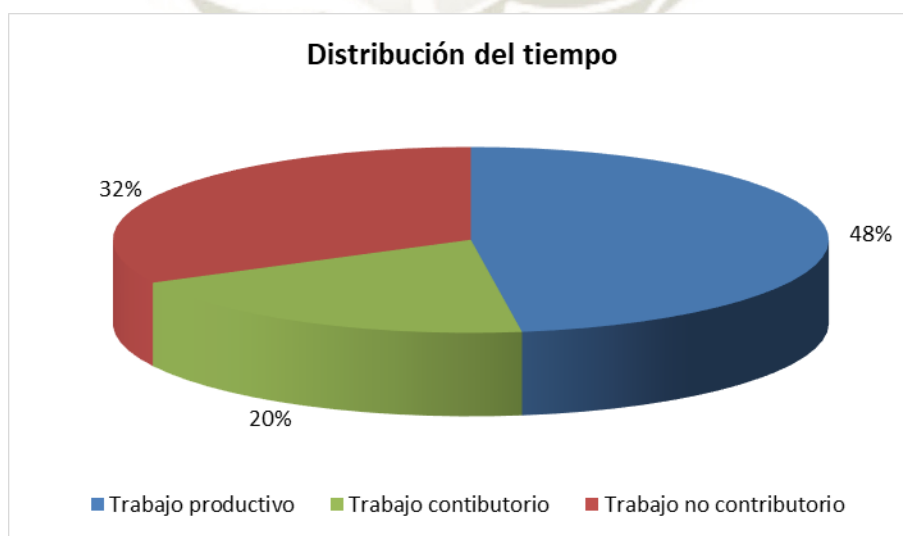
Trabajos no contributivos	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

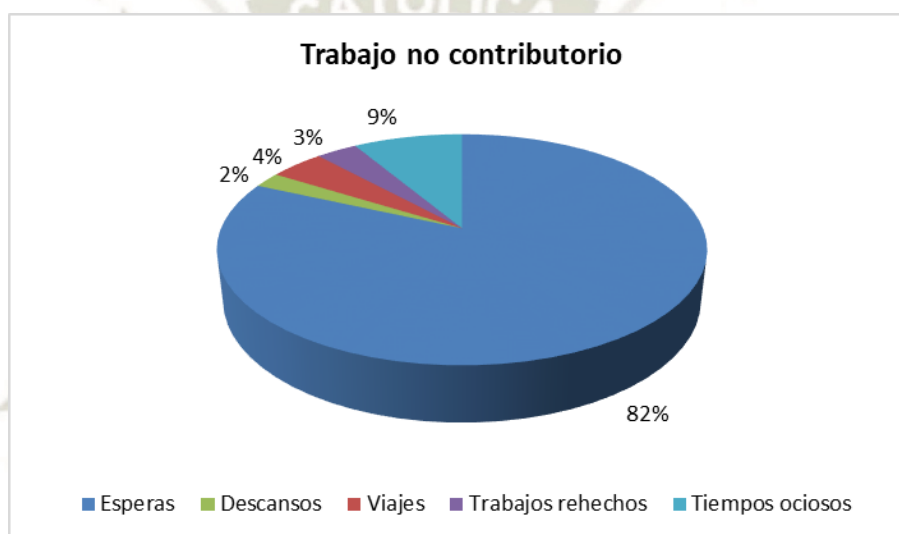
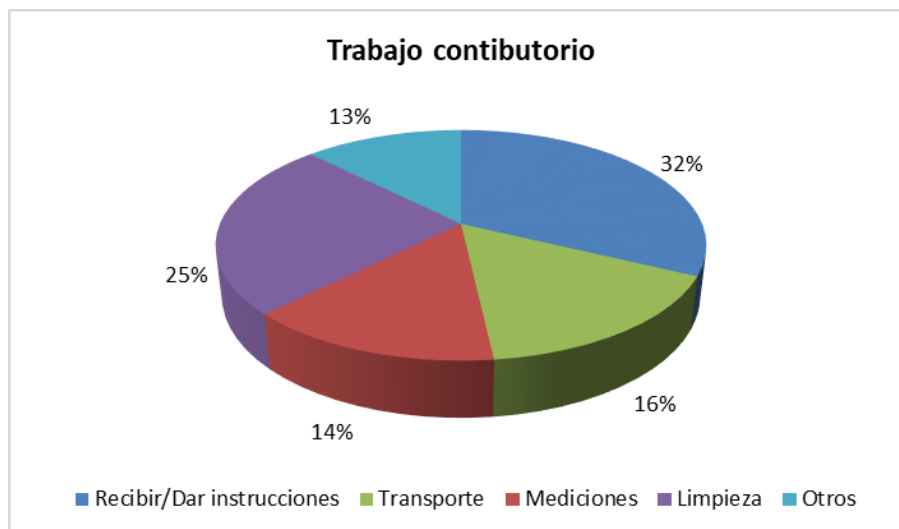


Nivel General de Actividades

Obra	Ocoña
Componente	Agua potable y alcantarillado
Frente	

Clasificación de trabajos	Cantidad	Porcentaje	
Trabajo productivo	136 min	47.7%	
Trabajo productivo	136 min	47.7%	
Trabajo contibutorio	56 min	19.6%	
I Recibir/Dar instrucciones	18 min	6.3%	32%
T Transporte	9 min	3.2%	16%
M Mediciones	8 min	2.8%	14%
L Limpieza	14 min	4.9%	25%
X Otros	7 min	2.5%	13%
Trabajo no contributorio	93 min	32.6%	
E Esperas	76 min	26.7%	82%
D Descansos	2 min	0.7%	2%
V Viajes	4 min	1.4%	4%
R Trabajos rehechos	3 min	1.1%	3%
O Tiempos ociosos	8 min	2.8%	9%
Y Otros	0 min	0.0%	0%





2. Cartas de Balance



CARTAS DE BALANCE

Obra	Ocoña
Frente	Red de alcantarillado
Partida	Excavación e instalación de tubería

Fecha	15.02.2018
-------	------------

Hora Inicio	08:40
Hora Fin	11:40

Cuadrilla	
Cargo	Nombre
Operario	Juan Apaza
Operador	Toribio Ccacya
Peón 1	Aurelio Flores
Peón 2	Andres Huamani
Peón 3	Ernesto Medina

Trabajos productivos	
1	Nivelación
2	Excavación de zanja
3	Refine y cama
4	Instalación de tubería
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Trabajos contributorios	
I	Recibir/Dar instrucciones
T	Transporte
M	Mediciones
L	Limpieza
X	Otros
X1	
X2	
X3	
X4	
X5	

Trabajos no contributorios	
E	Esperas
D	Descansos
V	Viajes
R	Trabajos rehechos
N	Necesidades fisiológicas
O	Tiempos ociosos
Y	Otros
Y1	
Y2	
Y3	

DATOS DE TIEMPO

	Operario Juan Apaza	Operador Toribio Ccacya	Peón 1 Aurelio Flores	Peón 2 Andres Huamani	Peón 3 Ernesto Medina					
1	E	2	E	2	E					
2	E	2	E	2	E					
3	E	2	E	2	E					
4	I	2	E	2	E					
5	I	2	E	2	E					
6	I	2	E	2	E					
7	I	2	E	2	E					
8	I	2	E	2	E					
9	I	2	E	2	E					
10	I	2	E	2	E					
11	I	2	E	2	E					
12	I	2	V	2	V					
13	E	2	L	2	V					
14	E	2	L	2	L					
15	E	2	L	2	L					
16	E	2	V	2	L					
17	E	2	T	2	L					
18	E	2	T	2	L					
19	L	2	L	2	L					
20	L	2	L	2	T					
21	E	2	T	2	T					
22	I	2	E	I	T					
23	I	2	3	I	N					
24	I	2	E	I	N					
25	E	2	E	2	N					
26	E	2	E	2	E					
27	O	2	2	2	E					
28	O	2	2	2	E					
29	O	2	2	2	E					
30	E	2	2	I	E					
31	E	E	E	E	E					
32	I	E	E	M	E					
33	E	2	E	2	E					
34	I	E	E	M	E					
35	E	3	E	I	E					
36	I	3	E	M	E					
37	1	3	E	3	E					
38	3	3	E	3	E					
39	3	3	E	3	1					
40	4	E	E	E	4					
41	4	E	E	E	4					
42	1	3	E	E	E					
43	1	E	E	E	1					
44	3	3	E	3	3					
45	3	3	E	3	3					
46	1	E	E	E	1					
47	1	E	1	E	E					
48	1	E	1	E	1					
49	E	3	1	3	1					
50	E	3	E	3	1					
51	E	3	E	3	1					
52	E	3	E	3	1					
53	1	3	E	E	1					
54	1	3	E	3	1					
55	L	3	E	3	E					
56	3	E	E	M	E					
57	I	E	E	M	E					
58	E	3	3	O	3					
59	E	3	3	O	3					
60	E	3	3	E	3					
61	E	3	3	E	3					
62	E	3	3	2	3					
63	E	2	3	2	3					
64	E	2	3	2	3					

DATOS DE TIEMPO

	Operario Juan Apaza	Operador Toribio Ccacya	Peón 1 Aurelio Flores	Peón 2 Andres Huamani	Peón 3 Ernesto Medina					
65	E	2	3	2	3					
66	E	2	3	2	3					
67	O	E	3	I	3					
68	E	E	3	E	3					
69	E	2	E	2	E					
70	E	2	E	2	E					
71	E	2	E	2	E					
72	I	2	E	2	E					
73	I	2	E	2	E					
74	I	2	E	2	E					
75	I	2	E	2	E					
76	I	2	E	2	E					
77	I	2	E	2	E					
78	I	2	E	2	E					
79	I	2	E	2	E					
80	I	2	V	2	V					
81	E	2	L	2	V					
82	E	2	L	2	L					
83	E	2	L	2	L					
84	E	2	V	2	L					
85	E	2	T	2	L					
86	E	2	T	2	L					
87	L	2	L	2	L					
88	L	2	L	2	T					
89	E	2	T	2	T					
90	I	2	E	I	T					
91	I	2	3	I	N					
92	I	2	E	I	N					
93	E	2	E	2	N					
94	E	2	E	2	E					
95	O	2	2	2	E					
96	O	2	2	2	E					
97	O	2	2	2	E					
98	E	2	2	I	E					
99	E	E	E	E	E					
100	I	E	E	M	E					
101	E	2	E	2	E					
102	I	E	E	M	E					
103	E	3	E	I	E					
104	I	3	E	M	E					
105	1	3	E	3	E					
106	3	3	E	3	E					
107	3	3	E	3	1					
108	4	E	E	E	4					
109	4	E	E	E	4					
110	1	3	E	E	E					
111	1	E	E	E	1					
112	3	3	E	3	3					
113	3	3	E	3	3					
114	1	E	E	E	1					
115	1	E	1	E	E					
116	1	E	1	E	1					
117	E	3	1	3	1					
118	E	3	E	3	1					
119	E	3	E	3	1					
120	E	3	E	3	1					
121	1	3	E	E	1					
122	1	3	E	3	1					
123	L	3	E	3	E					
124	3	E	E	M	E					
125	I	E	E	M	E					
126	E	3	3	O	3					
127	E	3	3	O	3					
128	E	3	3	E	3					

DATOS DE TIEMPO

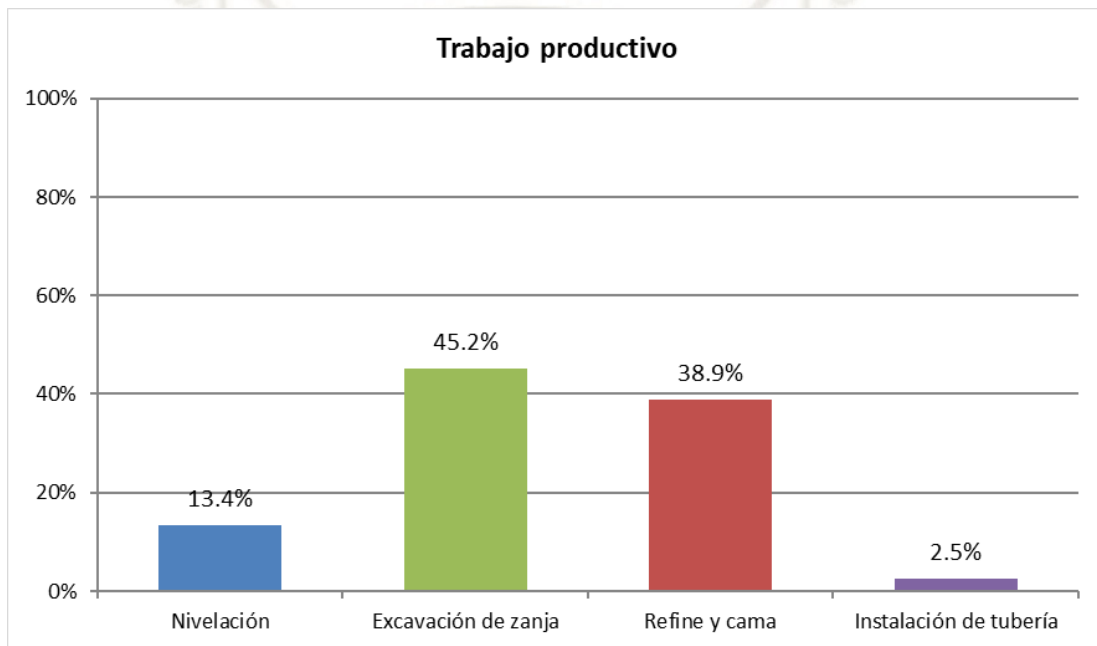
	Operario Juan Apaza	Operador Toribio Ccacya	Peón 1 Aurelio Flores	Peón 2 Andres Huamani	Peón 3 Ernesto Medina					
129	E	3	3	E	3					
130	E	3	3	2	3					
131	E	2	3	2	3					
132	E	2	3	2	3					
133	E	2	3	2	3					
134	E	2	3	2	3					
135	O	E	3	I	3					
136	E	E	3	E	3					
137	E	2	E	2	E					
138	E	2	E	2	E					
139	E	2	E	2	E					
140	I	2	E	2	E					
141	I	2	E	2	E					
142	I	2	E	2	E					
143	I	2	E	2	E					
144	I	2	E	2	E					
145	I	2	E	2	E					
146	I	2	E	2	E					
147	I	2	E	2	E					
148	I	2	V	2	V					
149	E	2	L	2	V					
150	E	2	L	2	L					
151	E	2	L	2	L					
152	E	2	V	2	L					
153	E	2	T	2	L					
154	E	2	T	2	L					
155	L	2	L	2	L					
156	L	2	L	2	T					
157	E	2	T	2	T					
158	I	2	E	I	T					
159	I	2	3	I	N					
160	I	2	E	I	N					
161	E	2	E	2	N					
162	E	2	E	2	E					
163	O	2	2	2	E					
164	O	2	2	2	E					
165	O	2	2	2	E					
166	E	2	2	I	E					
167	E	E	E	E	E					
168	I	E	E	M	E					
169	E	2	E	2	E					
170	I	E	E	M	E					
171	E	3	E	I	E					
172	I	3	E	M	E					
173	1	3	E	3	E					
174	3	3	E	3	E					
175	3	3	E	3	1					
176	4	E	E	E	4					
177	4	E	E	E	4					
178	1	3	E	E	E					
179	1	E	E	E	1					
180	3	3	E	3	3					
181	3	3	E	3	3					
182	1	E	E	E	1					
183	1	E	1	E	E					
184	1	E	1	E	1					
185	E	3	1	3	1					
186	E	3	E	3	1					
187	E	3	E	3	1					
188	E	3	E	3	1					
189	1	3	E	E	1					
190	1	3	E	3	1					
191	L	3	E	3	E					
192	3	E	E	M	E					

RESULTADOS DE TIEMPO

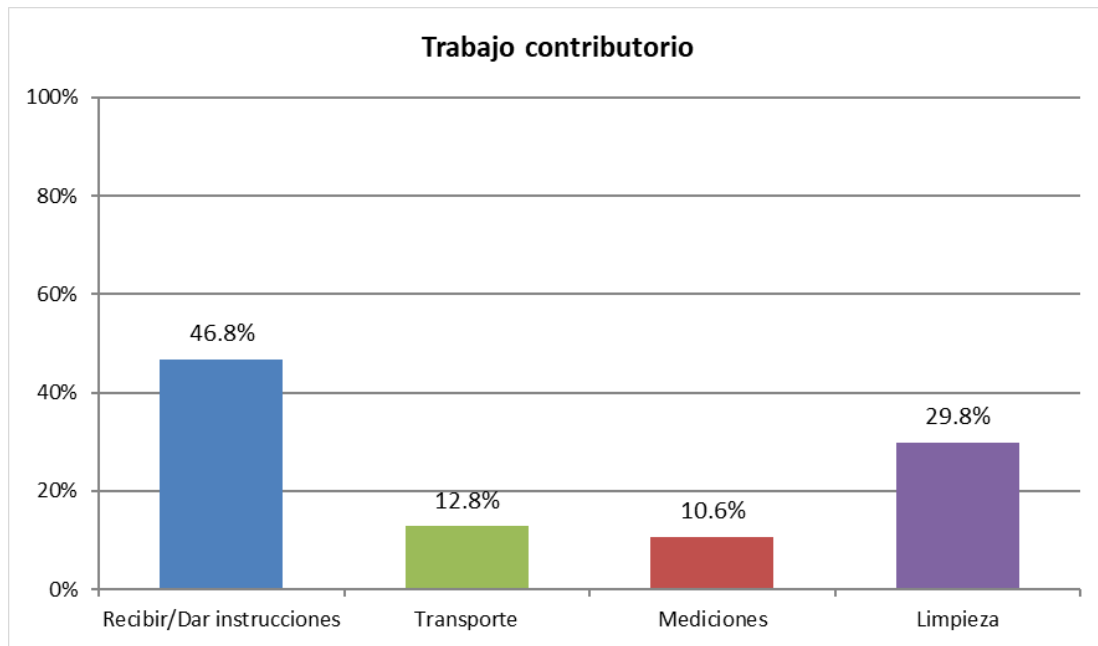
	Operario Juan Apaza	Operador Toribio Ccacya	Peón 1 Aurelio Flores	Peón 2 Andres Huamani	Peón 3 Ernesto Medina					
1	24 min		09 min		30 min					
2		105 min	12 min	96 min						
3	15 min	60 min	36 min	33 min	39 min					
4	06 min				06 min					
5										
6										
7										
8										
9										
10										
I	48 min			18 min						
T			09 min		09 min					
M				15 min						
L	09 min		15 min		18 min					
X										
X1										
X2										
X3										
X4										
X5										
E	90 min	39 min	117 min	36 min	87 min					
D										
V			06 min		06 min					
R										
N					09 min					
O	12 min			06 min						
Y										
Y1										
Y2										
Y3										



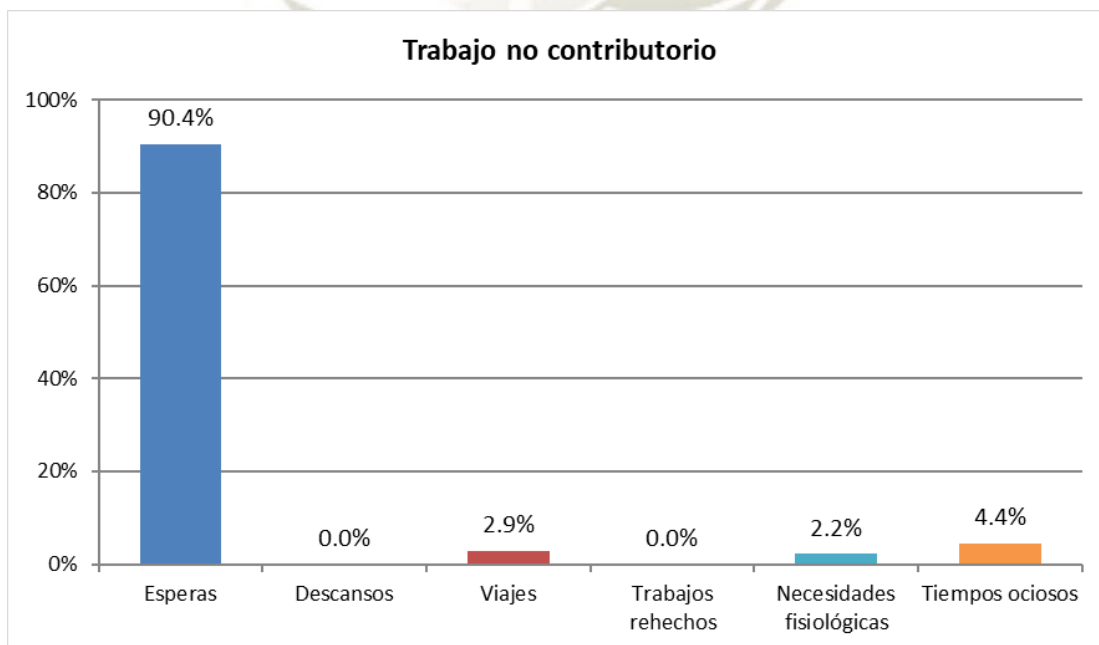
Trabajo productivo			
N°	Descripción	%	t (min)
1	Nivelación	13.4%	63
2	Excavación de zanja	45.2%	213
3	Refine y cama	38.9%	183
4	Instalación de tubería	2.5%	12
5			
6			
7			
8			
9			
10			
		100.0%	471



Trabajo contributorio			
N°	Descripción	%	t (min)
I	Recibir/Dar instrucciones	46.8%	66
T	Transporte	12.8%	18
M	Mediciones	10.6%	15
L	Limpieza	29.8%	42
X	Otros		
X1			
X2			
X3			
X4			
X5			
		100.0%	141



Trabajo no contributorio			
N°	Descripción	%	t (min)
E	Esperas	90.4%	369
D	Descansos		
V	Viajes	2.9%	12
R	Trabajos rehechos		
N	Necesidades fisiológicas	2.2%	9
O	Tiempos ociosos	4.4%	18
Y	Otros		
Y1			
Y2			
Y3			
		100.0%	408



DISTRIBUCION DEL TIEMPO POR OBRERO

	Operario	Operador	Peón 1	Peón 2	Peón 3
	Juan Apaza	Toribio Ccacya	Aurelio Flores	Andres Huamani	Ernesto Medina
TP	22%	81%	28%	63%	37%
TC	28%	0%	12%	16%	13%
TNC	50%	19%	60%	21%	50%
	100%	100%	100%	100%	100%

