

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION
EN EL PROYECTO “PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 HA) -
CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA” PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:
Bach. PATRICK ALBERT MORENO CUEVA
Bach. ANDER WILBERTO JAMBO SAAVEDRA**

**ASESOR:
ING. JAVIER GALARRETA**

**TRUJILLO – PERÚ
2021**

HOJA DE FIRMAS

ASESOR

JURADO (Presidente)

JURADO

JURADO

DEDICATORIA

Dedicamos el presente trabajo a nuestro Dios por bendecirnos con la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, por ser nuestro apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad; por permitir llegar a culminar una de nuestras metas. A nuestras familias que con su apoyo incondicional nos incentivaron a seguir adelante día a día a pesar de las adversidades que se presentan en el camino de nuestra formación.

Los autores,

Bach. ANDER JAMBO SAAVEDRA

Bach. PATRICK MORENO CUEVA

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por todas las bendiciones y a todas las personas que ha puesto en mí camino, porque todas ellas me han dado alguna lección de vida. A mis padres quienes me han sabido apoyar en todo momento y guiarme a lo largo de toda mi vida, a quienes admiro con todo cariño por su bello ejemplo de vida y perseverancia, contribuyendo así lograr mis metas y objetivos propuestos. A los docentes por haberme brindado su orientación y los conocimientos en mi formación como estudiante universitario.

Bach. ANDER JAMBO SAAVEDRA

Agradezco a Dios porque ha permitido todo lo bueno de mi vida, agradezco especialmente a mi esposa, además de mis hijos porque es mi familia la que me han motivado y quienes se han sacrificado para que yo pueda lograr cumplir esta meta.

Agradezco a mi suegro Don Sebastián Quito Calua, quien forma parte esencial de este logro, quien siempre me brindo su soporte con mucho amor.

Bach. PATRICK MORENO CUEVA

INDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Justificación.....	10
1.4. Objetivos.....	11
1.4.1. Objetivo General.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos.....	11
1.5. Antecedentes.....	12
1.6. Bases Teóricas.....	15
1.7. Definición de términos básicos.....	48
1.8. Formulación de la hipótesis.....	50
1.8.1. Variables.....	50
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	51
2.1. Material:.....	51
2.2. Material de estudio.....	52
2.2.1. Población.....	52
2.2.2. Muestra.....	52
2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	53
2.3.1. Para recolectar datos.....	53
2.3.2. Para procesar datos.....	53
2.4. Operacionalización de variables.....	54
III. RESULTADOS.....	57
IV. DISCUSIÓN.....	78
V. CONCLUSIONES.....	82
VI. RECOMENDACIONES.....	84
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

ANEXOS 88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de flujo (Fuente: Capítulo peruano LCI) 17

Figura 2: Modelo de flujo con flujos eficientes (Fuente: Capítulo peruano LCI) 18

Figura 3: Modelo de flujo con procesos eficientes (Fuente: Capítulo peruano LCI)..... 19

Figura 4: Herramientas del LPDS (Tesis Inés Castillo, 2014)..... 32

Figura 5: Lean Construction y la planificación colaborativa. Metodología del Last Planner® System (LPS)..... 38

Figura 6: Sistema de planificación Lean. Tomada de Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: estudio caso de la ciudad de Medellín, Botero, L. F., Álvarez, M. E. 39

Figura 7: Estructura fundamental del Last Planner System (Adriazola y Torres, 2004) 39

Figura 8: Algunas razones de incumplimientos comunes (Howell, Gregory.LCI)..... 47

Figura 9: Curva de construcción 57

Figura 10: Estado del proyecto 58

Figura 11: Formato para medir Nivel de Actividad General - Movimiento de Tierras-"Promanagement consulting" 60

Figura 12: Porcentaje de tiempo empleado -Movimiento de Tierras- (Fuente propia) 60

Figura 13: Trabajo Contributorio – Movimiento de Tierras- (Fuente propia)..... 61

Figura 14: Trabajo No Contributorio -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)..... 61

Figura 15: Formato para medir Nivel de Actividad General - Concreto 21MPA-"Promanagement consulting" 62

Figura 16: Porcentaje de tiempo empleado -Concreto 21MPA - (Fuente propia) 63

Figura 17: Trabajo Contributorio – Concreto 21MPA- (Fuente propia)..... 63

Figura 18: Trabajo No Contributorio -Concreto 21MPA - (Fuente propia) 64

Figura 19: Lookahead retroactivo para determinar el grado de cumplimiento de la programación (Fuente Propia)..... 65

Figura 20: Porcentaje de plan completado (Fuente propia) 66

Figura 21: Curva de plan completado acumulado (Fuente Propia) 66

Figura 22: Causas de no cumplimiento (Fuente Propia)..... 68

Figura 23: Categorías de Causas de no cumplimiento (Fuente Propia) 69

Figura 24: Nueva Curva de construcción 70

Figura 25: Nuevo Estado del Proyecto 70

Figura 26: Nuevo Porcentaje de tiempo empleado -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)..... 71

Figura 27: Nuevo Trabajo Contributorio – Movimiento de Tierras- (Fuente propia) 72

Figura 28: Nuevo Trabajo No Contributorio -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)..... 72

Figura 29: Nuevo: Porcentaje de tiempo empleado -Concreto 21MPA - (Fuente propia)..... 73

Figura 30: Nuevo Trabajo Contributorio – Concreto 21MPA- (Fuente propia)..... 74

Figura 31: Nuevo Trabajo No Contributorio -Concreto 21MPA - (Fuente propia)..... 74

Figura 32: Nuevo Lookahead (Fuente Propia)..... 75

Figura 33: Nuevo Porcentaje de plan completado (Fuente propia)..... 75

Figura 34: Nueva Curva de plan completado acumulado (Fuente Propia)..... 76

Figura 35: Promedio de Incremento de Productividad Semanal..... 76

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo aplicar herramientas de planificación y control de la filosofía Lean Construction. Se considera como muestra al proyecto PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA, ubicada en La Unidad Productiva Tantahuatay, Cienaga Norte – Cajamarca. Se toma como datos, los resultados de tiempo en el proyecto construcción del pad fase1 etapa1 – 4ta entrega, sin la aplicación de herramientas LEAN para proponer el planteamiento de mejora, donde en la herramienta Lookahead, se planifico el trabajo que se podía ejecutar en un horizonte de 4 semanas, logrando liberar oportunamente las restricciones necesarias para cumplir con lo planificado. Para los resultados del Proyecto se usó las herramientas de planificación Lean Construction, nivel de actividad general y Sistema del último planificador, usando los formatos implementados por Promanagement Consulting en colaboración con los autores, luego se llevó estos datos al programa Microsoft Excel para realizar los gráficos correspondientes. En los resultados se ha evidenciado que con la aplicación de las herramientas Lean Construction. Encontramos que el trabajo productivo representa un 75%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un 20%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, solo representa un 5%. Se obtiene mejoras considerables en la productividad, ya que entre otras cosas se obtiene el flujo continuo del trabajo, y que tanto el flujo como los procesos sean eficientes, como se nota en los resultados.

Palabras Claves: Planeamiento, productividad, construcción

ABSTRACT

The objective of this thesis is to apply planning and control tools of the Lean Construction philosophy. The project PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE - 4TA ENTREGA, located in the Tantahuatay Productive Unit, Cienaga Norte - Cajamarca, is considered as a sample. The results of time in the construction project of the pad phase1 stage1 - 4th delivery is taken as data, without the application of LEAN tools to propose the improvement approach, where in the Lookahead tool, the work that could be executed in a 4-week horizon, managing to release the necessary restrictions in a timely manner to comply with what was planned. For the Project results, the Lean Construction planning tools, general activity level and the last planner system were used, using the formats implemented by Promanagement Consulting in collaboration with the authors, these data were then taken to Microsoft Excel to make the corresponding graphs. The results have shown that with the application of Lean Construction tools. We found that productive work represents 75%, while activities carried out as Contributory work represents 20%, and non-Contributory work or that does not generate any value, only represents 5%. Considerable improvements in productivity are obtained, since among other things the continuous flow of work is obtained, and that both the flow and the processes are efficient, as shown in the results.

Key Words: Planning, productivity, construction

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Realidad problemática.

En la actualidad nuestro país se encuentra en crecimiento económico, se estima que en el 2021 el crecimiento económico será del 10%. La industria de la construcción aporta significativamente al PBI, a pesar de la coyuntura generada por la pandemia por Covid-19, se estima un crecimiento del 17% para el año 2021. En este sentido se evidencia que la industria de la construcción es fundamental en nuestro país como en el mundo, sin embargo, es una de las industrias donde peores indicadores de productividad se tienen, ya sea por factores de mano de obra, calidad, pero sobre todo por deficiente planificación y gestión de los proyectos de construcción. Lo que genera incumplimiento de plazos, desperdicios excesivos, desmotivación en los colaboradores, accidentes de trabajo, etc.

En su tesis doctoral, Flavio Picchi (1993) muestra el resultado de sus estudios, donde se nota que el desperdicio generado en construcción obedece al orden del 30% y muestra como ejemplo que, en un Proyecto de construcción de 4 edificios, el cuarto de ellos se podría construir con los costos asociados al desperdicio de los 3 primeros. Cabe aclarar que por “desperdicio” se entiende a toda pérdida que genera un costo, que no agrega valor al Proyecto o producto final.

Es por lo anteriormente descrito que las constructoras de nuestro país y del mundo realizan esfuerzos bastos para mejorar la productividad en sus proyectos

implementando diferentes sistemas, herramientas y demás, es entonces donde entra a tallar la filosofía Lean Construction, para nosotros la mejor alternativa de solución.

1.2. Formulación del problema.

¿La aplicación de la filosofía Lean Construction en el proyecto “PAD FASE 1, ETAPA 1 (335 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA” puede mejorar la productividad?

1.3. Justificación.

La industria de la construcción mueve mucho dinero de los inversionistas de toda clase, públicos y privados, pequeños, medianos y grandes, nacionales y extranjeros, en costa, sierra y selva; sin embargo, esta industrial es una de las que peores indicadores de eficiencia y productividad arroja. Esto debido a que muchos de los proyectos de construcción son errados y mal planificados desde su concepción, ósea desde el diseño de ingeniería o proceso de licitación pública o privada, teniendo como resultados de un mal análisis, malos cronogramas y presupuestos deficientes, impactando negativamente a los proyectos al momento de construir, adicionalmente existen problemas de mala gestión o planificación como son la mala distribución de cuadrillas, deficiente gestión de la cadena de suministros, deficiente gestión del recurso humano y demás recursos, falta de estandarización de los procesos y demás.

Como se evidencia, en la construcción actual en el Perú existe un excesivo desperdicio, ya sea de tiempo, de materiales, de recursos, de espacio, lo que genera pérdida de dinero por incremento de gastos innecesarios.

La filosofía Lean Construction, mediante un cambio de pensamiento o cultura organizacional, se encarga de minimizar o eliminar el desperdicio en tanto sea posible, a través de diversas herramientas probadas.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

- Aplicar herramientas de planificación y control de la filosofía Lean Construction.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Dar a conocer la filosofía Lean Construction.
- Identificar las herramientas de planificación y control aplicables a un proyecto PAD.
- Demostrar la Optimización del tiempo y recursos a través de la aplicación de herramientas Lean Construction en el proyecto PAD FASE 1, ETAPA 1 CIENAGA NORTE -4TA ENTREGA.

1.5. Antecedentes.

Investigaciones Internacionales:

HOWELL, G. (1997). En su libro “Implementing Lean Construction: stabilizing work flow”. Propone la implementación de un modelo de construcción Lean que evite pérdidas en proyectos complejos mediante la estabilización del entorno de trabajo a través del blindaje de la producción. Este antecedente es considerado para mi investigación ya que establece las herramientas y procedimientos de recolección de información.

BALLARD, G (2000). En su tesis doctoral “The Last Planner System of production control”, Propone un nuevo sistema de control, Last Planner, que permite la realización de planes y complementa la preocupación en la gestión de contratos con la gestión de producción en los proyectos. Este antecedente es considerado para mi investigación ya que me permite ampliar mis bases teóricas de mi tesis.

MARTÍNEZ (2011) En su tesis para obtener el grado de magister “Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción” concluye que:

- La implementación y aplicación de la Filosofía Lean al proyecto de construcción arrojó resultados favorables en cuanto a la gestión administrativa, proceso de planeación y ejecución del proyecto, se evidenció

una reducción considerable en las pérdidas generadas durante el proceso constructivo y por consiguiente una mejora en la productividad. Lo anterior se dio gracias al compromiso de la Gerencia y de las partes interesadas en el proyecto, a la aplicación de la metodología y al avance del mejoramiento continuo en los procesos; resultado de la planeación realizada en las reuniones programadas semanalmente.

- Los recursos utilizados en el desarrollo del proyecto de construcción como materiales, herramientas, maquinaria y equipos deben ser prioridad en el proceso de planeación, teniendo en cuenta que la ausencia de estos en la obra ocasiona aproximadamente el 60% de los tiempos no contributivos y aumenta los tiempos colaborativos, teniendo como resultado un factor negativo que afecta la productividad

Este antecedente es considerado para mi investigación ya que me permite establecer la información y su análisis de cada herramienta y su planificación.

Investigaciones Nacionales:

MEZA, M (2017) en su tesis “Propuesta de aplicación de la filosofía lean construction en un proyecto de edificación de albañilería confinada para reducir costos de ejecución”, concluye:

Al implementar la filosofía lean construction en el proyecto multifamiliar Residencial Las Flores, hubo una reducción considerable de los tiempos no contributivos reduciendo de un 31.6% a un 14.5% y mejorando los tiempos productivos de 34.8% a 47.6%, siendo este una mejora considerable en la

ocupación del tiempo de trabajo. Este antecedente es considerado para mi investigación ya que me permite comparar los tiempos productivos de trabajo y la información.

CHÁVEZ & DE LA CRUZ (2014), en su tesis “Aplicación de la filosofía lean construction en una obra de edificación (caso: condominio casa club recrea – el agustino)” concluye que:

Con el uso de la metodología del Last Planner System se mejoró el cumplimiento en la ejecución de las partidas analizadas. Esto se debe a que se minimiza la variabilidad anticipándonos al levantamiento de las restricciones de las partidas que se ejecutaran a futuro. El porcentaje del cumplimiento de las partidas se mejoró de 64% a 85% evitándonos retrasos dentro del proceso constructivo y trenes de trabajo. Este antecedente es considerado para mi investigación ya que me permite comparar los tiempos productivos de trabajo y la información.

ORIHUELA & ULLOA (2011), en el boletín N°12 “La planificación de las obras y el sistema last planner” de la corporación Aceros Arequipa – Motiva, refieren como conclusión que:

- La aplicación continua del Sistema Last Planner en una obra de construcción, incrementa significativamente la confiabilidad de su planificación. Esto permite al ingeniero residente, conjuntamente con todo el equipo de obra, eliminar una gran cantidad de pérdidas ocasionadas por la incertidumbre y la alta variabilidad, típicas de los procesos constructivos.

- La implementación del Sistema Last Planner NO necesita de un despliegue de gran tecnología ni de adquisiciones costosas, requiere sobre todo de un entendimiento que las formas tradicionales de planificación NO son las mejores y de un compromiso de todos los involucrados con la nueva filosofía LEAN.

Este antecedente es considerado para mi investigación ya que me permite comparar los tiempos productivos de trabajo y la información.

1.6.Bases Teóricas.

Lean Construction

Lean Construction es una filosofía que se dirige hacia la administración de la producción en construcción y tiene como finalidad disminuir o eliminar las actividades que no añaden valor al proyecto y perfeccionar las actividades que sí ayudan al proyecto; por tal motivo, se dirige primordialmente en establecer herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y así tener un sistema bueno de producción para la reducción de las pérdidas y/o desperdicios.

Lean Construction es una nueva forma de ver la producción, no un modelo o unos pasos establecidos que se deban seguir; lo que se pretende es entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas “Lean” para la gestión de los proyectos constructivos, en donde las herramientas son la aplicación de los principios teóricos a la práctica profesional.

Para poner en marcha la filosofía Lean Construction en los proyectos es preciso comenzar con el compromiso de tener una cultura de mejora continua de la producción para que al aplicar los principios “Lean” adecuadamente mejoren la seguridad, la calidad y la eficiencia del proyecto. Es decir, se debe aplicar correctamente los principios de LC en las actividades del proyecto.

Se conoce once principios, según Lauri Koskela:

1. Eliminación y/o reducción de las actividades que no añadan valor.
2. Incremento del valor del producto.
3. Reducción de la variabilidad.
4. Reducción del tiempo del ciclo.
5. Simplificación de proceso.
6. Incremento de la flexibilidad de la producción.
7. Transparencia del proceso.
8. Enfoque del control al proceso completo.
9. Mejoramiento continuo del proceso.
10. Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión.
11. Referenciación.

Para que se dé la mejora en todo el proceso de gestión del proyecto, de inicio a fin, al aplicar estos principios se debe adaptar plena y eficazmente el nuevo enfoque de producción que propone LC.

Por tanto, la filosofía Lean Construction se utiliza para solucionar problemas que se encuentran en la metodología de construcción en las fases de costo,

plazo y productividad en las distintas obras, para ello LC propone implementar un sistema de producción eficaz y para esto se tiene que cumplir tres objetivos fundamentales, por orden de prioridad.

A. Que el Flujo no pare:

Esta es la más importante etapa, en donde se tiene que ver que el flujo sea continuo, ya que si esto sucede los trabajos no pararán y así podremos observar qué fallas se presentan en cada proceso y que flujos se tienen y así eliminarlos como medida inmediata.

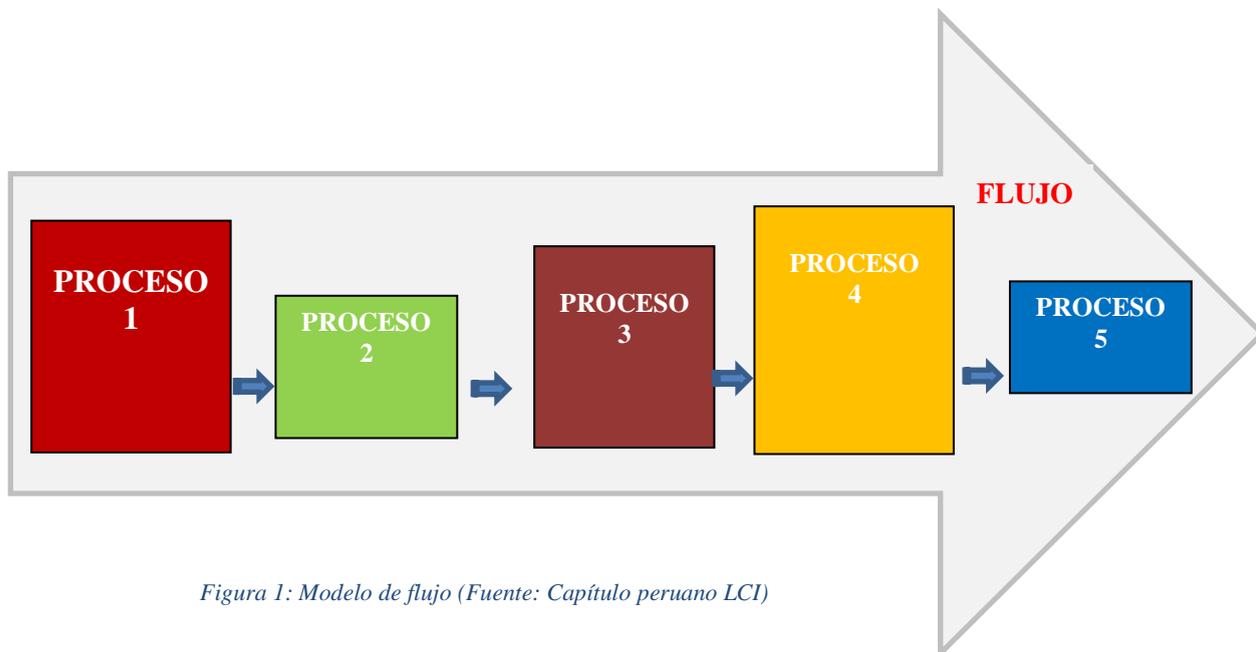


Figura 1: Modelo de flujo (Fuente: Capítulo peruano LCI)

En esta imagen se puede ver que hay continuidad en el proceso en general, pero también se puede observar que a la vez hay pérdidas porque cada proceso tiene una diferente capacidad de producción y por ende de flujos, por la tanto la filosofía LC plantea reducir o minimizar la variabilidad.

B. Flujo Eficiente

Este es nuestro segundo paso a seguir, lo que se espera lograr son proceso y flujos balanceados, para esto se tiene que dividir el trabajo total de forma igualitaria entre todos los procesos.

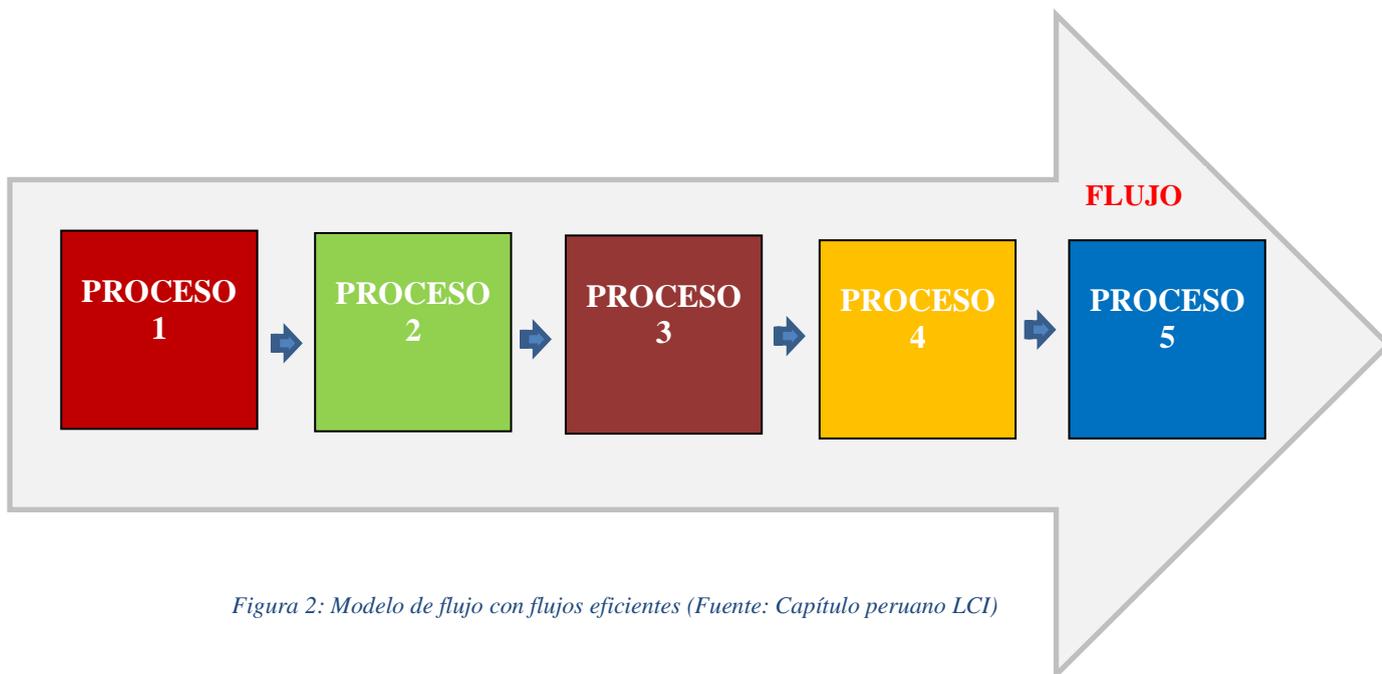


Figura 2: Modelo de flujo con flujos eficientes (Fuente: Capítulo peruano LCI)

En esta imagen podemos observar que hay continuidad en el proceso y por tal motivo un flujo constante.

C. Procesos Eficientes

Esto se logrará con una optimización de proceso con las herramientas de LC que se crean convenientes

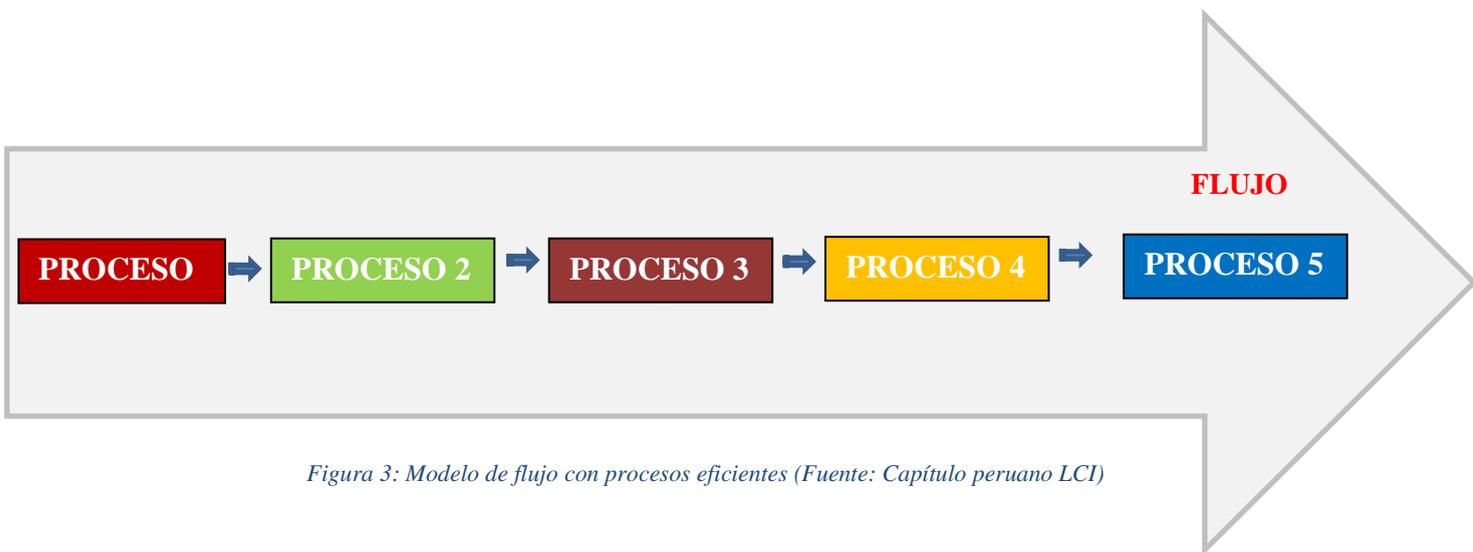


Figura 3: Modelo de flujo con procesos eficientes (Fuente: Capítulo peruano LCI)

Lo que se observa en la imagen es como se dimensiona de forma adecuada los procesos y recursos quitando los desperdicios en cada proceso para así lograr un sistema de producción efectivo.

Herramientas de Lean Construction

Utilizando una serie de herramientas funcionará adecuadamente Lean Construction con la finalidad de simplificar su uso y así poder llevar los principios teóricos de la filosofía a la práctica profesional.

FASE	CÓDIGO	HERRAMIENTA	DEFINICIÓN	FUENTE
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	DP-01	MATRIZ DE SELECCIÓN DE EQUIPO DE DISEÑO	Matriz para la selección de los profesionales que conformarán el equipo de diseño del proyecto	Pablo Orihuela et al 2011
	DP-02	CUADERNO DE DISEÑO	Documento en línea que mantiene informado sobre los cambios del proyecto a todos los involucrados.	Pablo Orihuela et al 2011
	DP-03	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Matriz que permite formalizar las necesidades del inversionista.	Pablo Orihuela et al 2011
	DP-04	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Matriz que permite formalizar las necesidades del usuario.	Pablo Orihuela et al 2011
	DP-05	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Base de datos.	Inés Castillo

	DP-06	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPÓSITOS	Matriz de alineación de las necesidades del cliente y las alternativas de diseño del proyecto que se proponen.	Pablo Orihuela et al 2011
	DP-07	DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)	Herramienta que permite traducir lo que el cliente quiere en lo que la organización debe producir.	Yoji Akao 1978
	DL-01	REPORTE A3	Documento en hoja A3 (28x43cm) de Gestión del Conocimiento donde se registra el proceso Planear-Hacer- Verificar-Actuar	Empresa Automotriz Toyota
	DL-02	ESTACIONAMIENTO	Técnica que ayuda a capturar ideas importantes que no son relevantes para el tema que se discute en una reunión.	Cynthia Tsao et al 2012

DISEÑO LEAN	DL-03	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Representación gráfica del proceso de diseño para producir un resultado, asignando el grado de responsabilidad de los involucrados en el proyecto.	Carlos Formoso et al 1999
	DL-04	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	En la entrada se describe los requerimientos que necesita la actividad para ser realizada. En la salida se describe el resultado final de la actividad realizada	Carlos Formoso et al 1999
	DL-05	LISTA DE TAREAS	Listado de la información necesaria previa al inicio de un trabajo.	Luis Alarcón et al 1998
	DL-06	LISTA DE CHEQUEO	Listado usado para verificar el	Luis Alarcón et al 1998

			cumplimiento de las tareas asignadas a los involucrados	
	DL-07	SOLICITUD DE INFORMACION (RFI)	Es un mecanismo de información formal que se utiliza para solicitar información técnica del proyecto al cliente o proyectista.	Grupo Internacional de la Construcción Lean
	DL-08	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Diseño simultáneo del proceso y el producto.	Instituto de la Industria de la Construcción 1986
	AL-01	CENTROS LOGISTICOS	Es un lugar céntrico, por lo general fuera del proyecto, para el flujo de materiales en la cadena de abastecimiento	Iris Tommelein et al 2007
			Operaciones que buscan incrementar la organización, orden,	Empresa Automotriz Toyota

ABASTECIMIENTO LEAN	AL-02	5 “S”	limpieza y estandarización en las áreas administrativas y productivas. 5S proviene de 5 palabras: SEIRI, SEITON, SEISO, SEIKETSU y SHITSUKE. (Clasificar, Organizar, Limpiar, Estandarizar y co	
	AL-03	MATRIZ MULTICRITERIO	Comparación de alternativas basada en una evaluación cuantitativa (costos, rendimientos) y cualitativa (niveles de desempeño).	Pablo Orihuela et al 2008
	AL-04		Permite identificar todas las actividades en la planificación y	Empresa Automotriz Toyota

		MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	fabricación de un producto, permitiendo encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan impacto sobre toda la cadena de abastecimiento	
	AL-05	KANBAN	Control de inventario usando tarjetas para producir solo lo que se necesite, cuando se necesite y en las cantidades adecuadas	Empresa Automotriz Toyota
	EL-01	FIRST RUN STUDIES	Análisis de Primera Ejecución, es el análisis detallado de un proceso constructivo previo a su ejecución.	Instituto de la Construcción Lean
			Herramienta estadística utilizada para el estudio de tiempos y	

EJECUCIÓN LEAN	EL-02	NIVEL DE ACTIVIDAD	movimientos de la actividad en un sector, frente o todo el Proyecto, separando el trabajo en: productivo, contributorio y no contributorio.	Alfredo Serpell 1990
	EL-03	CARTA BALANCE	Herramienta estadística que permite determinar cómo se divide el tiempo que se dedica a cada una de las tareas dentro de la actividad, permite analizar el procedimiento constructivo usado y buscar su optimización	Alfredo Serpell 1990
	EL-04	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Herramienta que determina el rango de trabajo y la secuencia de trabajo que cada miembro es responsable.	Nakagawa y Shimizu 2004

	EL-05	POKA YOKE	Se refiere a dispositivos, elementos o sistema que tienen como objetivo principal eliminar los defectos en un producto previniendo los errores antes que se presenten.	Shingeo Shingo 1960
	EL-06	MANUALES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS	Documento formal que contiene la descripción de las actividades que se deben seguir durante un determinado proceso.	Propuesta de Tesis
	EL-07	ANDON	Consiste en un sistema que evidencia los problemas o defectos en un proceso a partir de luces y sonidos que son activados por la persona que realiza el trabajo, parando el trabajo y dedicando un tiempo a corregir el error hallado,	Empresa Automotriz Toyota

			este tiempo no debe ser muy prolongado.	
	EL-08	ONE TOUCH HANDLING	Manejo con un solo toque, materiales que pueden ser instalados directamente desde el vehículo de entrega.	Glenn Ballard et al 2002
USO	U-01	EVALUACIONES POSTOCUPACION	Evaluación del producto luego de encontrarse en uso, es visto como una retroalimentación del proyecto	Instituto de la Construcción Lean
	U-02	MANUAL DEL CLIENTE	Documento elaborado por la empresa encargada del proyecto, en donde se dan instrucciones de las características generales del departamento y el mantenimiento periódico del mismo.	Inés Castillo 2014

	U-03	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Esta herramienta consiste en capturar formalmente todos los requerimientos que podría tener el usuario del producto.	Inés Castillo 2014
	U-04	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Plan de prevención del mantenimiento de los edificios, para aumentar el tiempo de vida del proyecto y prevenir los problemas futuros que se podrían presentar	Cupertino et al 2011
	U-05	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	La herramienta consiste en realizar un diagrama de flujo de las actividades realizadas durante el proceso de recepción y levantamiento de un reclamo del cliente.	Cupertino et al 2011

CONTROL DE PRODUCCIÓN	CP-01	PLANIFICACION MAESTRA	Es la planificación para todo el proyecto, se realiza un análisis macro en donde se desarrolla las estrategias de ejecución del proyecto	Grupo Internacional de la Construcción Lean
	CP-02	PLANIFICACION POR FASES	Consiste en detallar las actividades necesarias para la ejecución de una fase del proyecto, identifica las pautas necesarias para la liberación de trabajo de una actividad a otra y establece la secuencia de estas actividades.	Glenn Ballard 2000
	CP-03	PLANIFICACION LOOKAHEAD	“Vista anticipada” dentro del cronograma maestro, un intervalo de tiempo en el futuro que permite tener una idea	Glenn Ballard y Greg Howell 2004

			inicial de las actividades que serán ejecutadas.	
CP-04	PLAN DE TRABAJO SEMANAL		Planificación de los trabajos en la semana, los cuales deben encontrarse “sin restricciones” para poder ejecutarlas con facilidad.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
CP-05	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)		Permite estimar cuanto de lo establecido en la programación semanal se ha cumplido verdaderamente.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
CP-06	CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO		Causas que no permitieron cumplir con la tarea programada en la programación semanal	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
CP-07			Técnica de programación que permite mostrar el	

		LINEAS DE BALANCE	trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea, o barra, en una gráfica.	Goodyear Tire & Rubber Company
TRABAJO ESTRUCTURADO	TE-01	5 WHYs	Esta técnica consiste en un proceso iterativo de preguntas ¿Por qué? usado para identificar la causa raíz de un problema.	Empresa Automotriz Toyota
	TE-02	BUFFERS	Significa un “colchón” que protege el plan del proyecto de la incertidumbre	Grupo Internacional de la Construcción Lean

Figura 4: Herramientas del LPDS (Tesis Inés Castillo, 2014)

Las herramientas que se utilizarán en esta tesis son:

- Nivel de Actividad General
- Last Planner System (Sistema del Ultimo Planificador – SUP) que comprende:
 - 1.1. Lookahead Planning.
 - 1.2. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)
 - 1.3. Causas de No Cumplimiento

1. Nivel de Actividad General

Herramienta de la filosofía Lean Construction que permite obtener un resultado general de la productividad en el proyecto, puede servir como un indicador de la eficiencia con que se están realizando los trabajos. Consiste en mediciones de Trabajos Productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC), con la finalidad de tener unos indicadores del nivel de productividad general del proyecto.

Productividad

Sobre el particular, Jiménez (2010) considera que “la productividad es un indicador que expresa qué tan bien se están utilizando los recursos de una economía en la producción de bienes y servicios; de tal modo, una conceptualización común de la productividad es la que se refiere como una relación entre la cantidad bienes y servicios obtenidos y la cantidad de recursos utilizados, y refleja la eficiencia con la cual los recursos son empleados para generar bienes y servicios en el mercado.”

De acuerdo con la revista Bit (2001), en su artículo “Índice de productividad en la construcción: Mito o Realidad”, se entiende por productividad la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Por lo tanto, productividad se define como la relación entre producción final y factores productivos utilizados en la producción de bienes y servicios.

“De un modo general, la productividad se refiere a lo que genera el trabajo, la producción por cada trabajador, la producción por cada hora trabajada o cualquier otro tipo de indicador de la producción en función del factor trabajo. Una productividad mayor significa hacer más con la misma cantidad de recursos o hacer lo mismo con menos capital y trabajo.”¹

Adicionalmente Niebel (2001) escribe que el mejoramiento de la productividad se refiere al incremento de la producción por hora trabajo o por tiempo gastado. Como base fundamental para el mejoramiento de la productividad se encuentran los recursos humanos, ya que estos son el capital más importante de toda la empresa. “Algunos mencionan el capital como el recurso esencial para el desarrollo industrial y otros mencionan la tecnología como el factor que incrementa la misma. Si bien estos recursos son importantes, el capital puede ser desperdiciado por las personas y la tecnología no sirve de nada sin personas que se comprometan y aprendan a utilizarla bien”²

¹Eric Allmon, U.S. Construction Labor Productivity Trends. Journal of Construction. 1998.

²B. Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, Alfaomega, México. 2001.

Proceso de producción.

Según Rossi (2006), las empresas entregan un producto, el cual es elaborado por un proceso llamado producción, es en este proceso donde se integra el control llamado productividad

Rossi (2006) considera que para medir el ratio output/inputs decir la productividad, se utilizan dos parámetros:

- La hora - hombre por unidad
- El costo por unidad

El primero sólo se trata de la mano de obra; mientras que el segundo, el costo por unidad, combina todos los efectos.

Según estudios sobre la ocupación del tiempo de los trabajadores en la construcción se consideró que los trabajadores pueden realizar tres tipos de actividades (Serpell, 2002).

A. Trabajo Productivo (TP): Trabajo que aporta en forma directa a la producción.

Ejemplo: Asentar ladrillos, vaciar concreto, Encofrados, habilitar y colocar acero, etc. Los tiempos que se usan para estas actividades, son los llamados tiempos productivos (TP).

B. Trabajo Contributorio (TC): Trabajo de apoyo que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo, pero que no aportan valor.

Ejemplo: Recibir o dar instrucciones, leer planos, transporte de materiales, limpieza, etc. Por ende, los tiempos que se usan en estas actividades son los tiempos contributorios (T.C).

C. Trabajo No Contributorio (TNC): Cualquier actividad que no genera valor, y que cae directamente en la categoría de pérdida. Son actividades que no son necesarias y tienen un costo.

Ejemplo: Esperas, descansos, trabajo rehecho, viajes, etc. Siendo los tiempos no contributorios (TNC).

2. Last Planner System (Sistema del último planificador – SUP)

Esta herramienta es conocida como Last Planner System (LPS) en inglés o Sistema del Último Planificador (SUP) en español, fue desarrollada por Glenn Ballard y Greg Howell, ellos lo ejecutaron como un sistema de planificación de la producción, orientado para crear un flujo de trabajo predecible y rápido en la programación, diseño, construcción y encaminar a los proyectos y reducir la incertidumbre en las actividades programadas.

Con LPS 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. Con este sistema se controla de una manera más eficaz la planificación porque se puede medir el desempeño del sistema de planificación y así analizar e identificar las equivocaciones cometidas en ésta; lo que, no se puede controlar con un sistema tradicional de planificación con métodos de ruta crítica no llegan a

controlar la variabilidad. Por el contrario, LPS al contar con un factor de control de la producción a la gestión tradicional de proyectos ayuda como un instrumento para transformar lo que debe en lo que se puede realizar elaborando planes de trabajos para cada semana por medio de asignaciones.

El LPS es la persona o grupo responsable de la planificación operativa, es decir, de la elaboración del diseño de productos para mejorar el flujo de trabajo y controlar mejor las unidades de producción, y esto nos lleva en el nivel operativo a la ejecución de los trabajos individuales. Planificar para LPS es decidir lo que debería hacerse para terminar un proyecto y fijar lo que se hará teniendo en cuenta que no todo puede hacerse debido a ciertas restricciones.

“Adicionalmente la función del último planificador es lograr que lo que queremos hacer coincida con lo que podemos hacer y finalmente ambas se conviertan en lo que vamos a hacer.”³

Según Ballard (1994). “en los esquemas convencionales de manejo de obra en construcción, se invierte mucho tiempo y dinero generando presupuestos y planificaciones de obra; el esfuerzo de planificación inicial se convierte durante la ejecución de la construcción en un esfuerzo de control. Todo funcionaría bien si viviésemos en un mundo perfecto”. Pero, como se sabe la planificación suele desviarse de lo propuesto prácticamente el primer día de la obra causando un

³ Abner Guzmán Tejada. Aplicación de La Filosofía Lean Construction en La Planificación, Programación, Ejecución y Control De Proyectos. Lima, Perú. 2014

efecto dómimo y perjudicando las actividades siguientes, por esto se genera la necesidad de replanificar gran parte del proyecto, al ir disminuyendo las holguras. Dentro de la planificación general se genera una presión mayor por terminar más rápido, esto hace que los costos de mano de obra y equipos suban radicalmente trayendo como consecuencia, el uso de una gran cantidad de recursos por lo que se obtiene una eficiencia muy baja para lograr terminar la obra en los plazos establecidos.



Figura 5: Lean Construction y la planificación colaborativa. Metodología del Last Planner® System (LPS).

Estructura del SUP

En la estructura del Sistema del Último Planificador se puede ver tres niveles de planificación, va desde lo más general a lo más específico, proponiendo una planificación en cascada para así tener un cronograma eficiente.

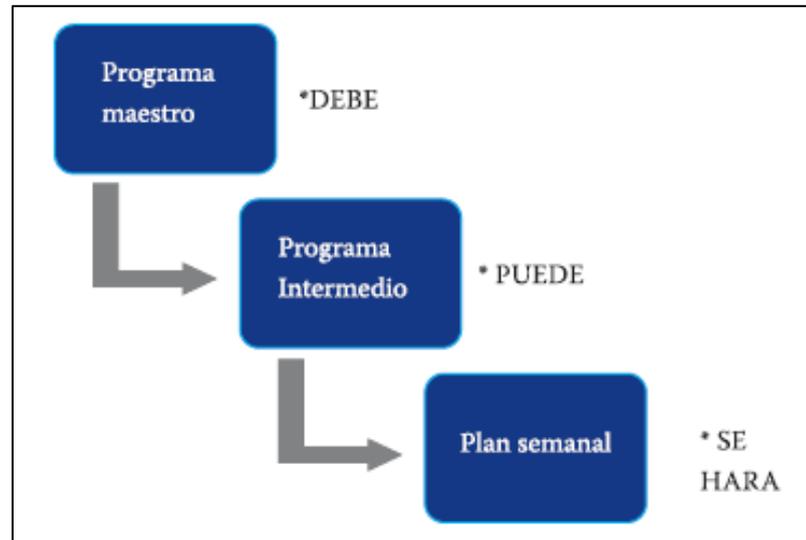


Figura 6: Sistema de planificación Lean. Tomada de Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: estudio caso de la ciudad de Medellín, Botero, L. F., Álvarez, M. E.

El SUP facilita herramientas para que la programación a largo plazo se cumpla con éxito y se tenga un proyecto eficiente.

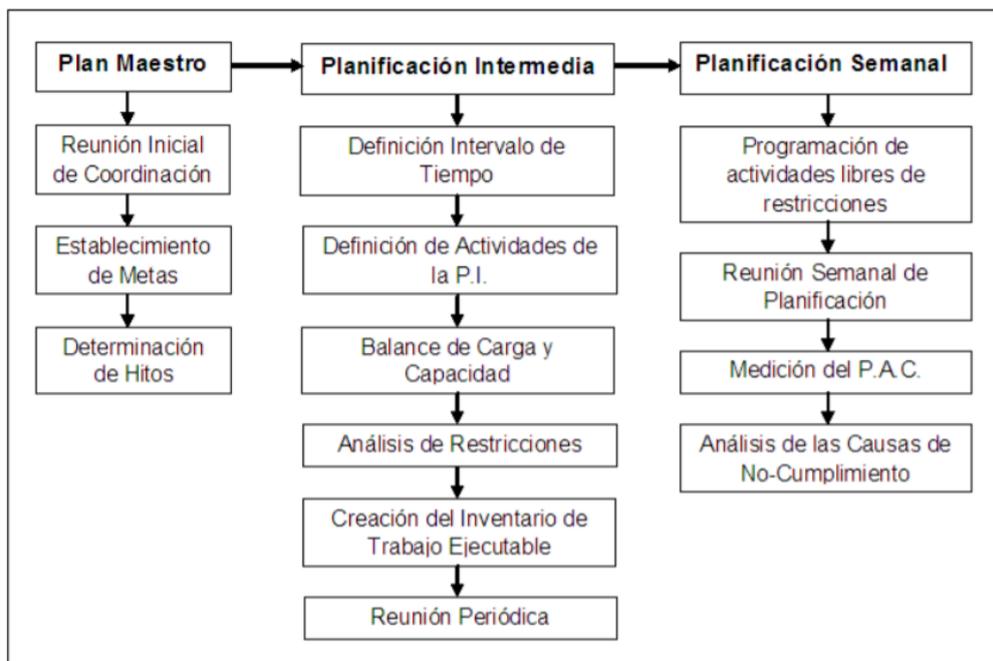


Figura 7: Estructura fundamental del Last Planner System (Adriazola y Torres, 2004)

Plan maestro

Es la planificación y programación de todas las actividades requeridas para hacer la edificación del diseño de ingeniería. El plan maestro se realiza en forma de diagrama de Gantt, estableciendo tiempos en todas las tareas necesarias para terminar la etapa de construcción en los proyectos.

a. Planificación intermedia

Es el segundo nivel en la aplicación del SUP y consiste en analizar y examinar la programación general para prevenir la pérdida de tiempo y material; se resaltan las actividades que se deben hacer en un futuro cercano. En esta etapa se gestiona los socios estratégicos como: proveedores, diseñadores, recursos en general y la información para que el equipo de trabajo y sus cuadrillas cumplan con los objetivos del proyecto.

La herramienta central de este nivel de planificación es el Lookahead Planning

Lookahead Planning

Esta herramienta, que traducida al español sería “visión anticipada” de las dificultades, trabaja como programación intermedia entre el plan maestro y la programación semanal.

Ayuda a tener un plan anticipado de las actividades venideras.

Propuesto por Glend Ballard y Howell 1994 que tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo. Según Ghio (2001) “un porcentaje considerable de los factores que afectan la eficiencia y la productividad en las obras tienen como causa

fundamental el no contar con los recursos necesarios en el momento que se requieren”.

Los tiempos de intervalo de anticipación o cantidad de semanas a considerar, se determinarán de acuerdo a las necesidades del proyecto, como las variabilidades y el tiempo logístico como parte de las restricciones identificadas. Por ejemplo, en proyectos de infraestructura se consideran periodos de 4 a 6 semanas. Se tendrá en cuenta la cantidad de materiales y equipos, mano de obra, tiempo logístico y levantamiento de consultas al cliente, para obtener una planificación semanal más aterrizada para asegurar el flujo.

Pasos para la planificación Lookahead:

Definición del intervalo de tiempo

Expresado en semanas, para su medición, el número depende de la complejidad del proyecto, además del tiempo necesario para obtener información, materiales, mano de obra y maquinaria. Algunas consultas o actividades tienen tiempos de respuesta largos desde que inicia la petición hasta que se obtiene respuesta, estos periodos deben ser identificados en el programa maestro durante la planificación inicial.

Definición de las actividades que serán parten del plan intermedio

Analizar cuidadosamente todas las actividades del plan maestro que estén contenidas dentro de los intervalos establecidos, lo que permite obtener un conjunto de actividades para cada intervalo de tiempo, considerando que cada actividad tendrá restricciones que condicionan su ejecución.

Análisis de restricciones

Identificadas las actividades que serán parte del plan intermedio es necesario asegurar que estén libres de restricciones para que puedan ser llevadas a cabo en el momento fijado. Es necesario cumplir con dos etapas para asegurarnos que una actividad esté libre de restricciones:

Primera, revisión del estado de las tareas con respecto a la planificación intermedia teniendo en cuenta sus restricciones y la probabilidad de mover las tareas antes del tiempo para su comienzo.

La revisión es el primer paso para controlar el flujo de trabajo, ya que impide la entrada de una tarea que tiene restricciones al plan intermedio, es decir su objetivo principal es filtrar la información que entra a la planificación intermedia.

Segunda, preparar las restricciones. Se trata de definir cuáles serán las acciones tomadas para remover las restricciones para iniciar la actividad en el tiempo planeado, y se debe desarrollar en tres fases: confirmar los tiempos de respuesta de los proveedores verificando quién es el último involucrado con la ejecución de la actividad, tener certeza de que el proveedor tendrá todo listo para el inicio de la tarea en obra y si los tiempos de respuesta anticipados son los adecuados; en caso de resultar demasiado largos se deberán acortar.

Intervalo de trabajo ejecutable

Está compuesto por todas aquellas tareas que tienen la mayor probabilidad de ser ejecutadas, es decir, aquellas que pasaron por el proceso de revisión y están libres

de restricciones; de esta manera se crea un intervalo de tareas que se han de ejecutar.

Dentro del intervalo ejecutable existen diversos tipos de actividades, entre ellas:

- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen al intervalo de trabajo ejecutable ITE de la semana en curso pero que no pudieron ser ejecutadas.
- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura.
- Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras.

En caso de que alguna actividad del ITE no pueda ser ejecutada o se ejecute antes, se proveerán otras para que las cuadrillas no queden libres de trabajo y con esto se da por finalizada la programación intermedia.

b. Planificación semanal

Es la última fase de planificación del SUP 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 Programa 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 corregirlas en la siguiente semana.

Formación del programa de trabajo semanal

El programa de trabajo semanal contiene las actividades que serán realizadas durante la semana. Se forma teniendo en cuenta las actividades que se pueden hacer según lo establecido en el ITE, seleccionando lo que puede ser ejecutado en cada semana; esto se denomina “asignaciones de calidad”, es decir que el plan de trabajo semanal estará compuesto solo por asignaciones de calidad.

Para que el plan sea exitoso deben cumplirse los cinco criterios de calidad: definición, consistencia, secuencia, tamaño y retroalimentación.

Porcentaje de plan cumplido

Teniendo ya elaborado el plan de trabajo semanal el Sistema Último Planificador mide el cumplimiento de lo programado en el plan mediante el porcentaje de programa cumplido PPC, 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. El PPC se calcula como:

$$\text{Ppc} = \frac{\text{(Total actividades cumplidas)}}{\text{(Total actividades programadas)}} \times 100 \text{ (1)}$$

para un mejor análisis los resultados obtenidos al culminar cada semana se pueden ir graficando para evidenciar el rendimiento del SUP a lo largo de la

ejecución del proyecto en su fase constructiva, colocando en el eje horizontal las semanas y en el vertical el PPC correspondiente a cada una. Con el grafico se podrá analizar que un aumento en el PPC de una semana a otra conduce a un mejor rendimiento en la ejecución de las labores por parte de las cuadrillas de trabajo

Reunión de planificación semanal

Antes de dar inicio a cada semana de trabajo se debe realizar una reunión para planear y discutir asuntos de planificación semanal; a dicha reunión deben asistir el administrador de obra, el jefe de terreno o encargado de la planificación, los supervisores y capataces, el representante de la oficina técnica y los subcontratistas. Los asuntos a tratar serán:

- Revisar y discutir el PPC de la semana anterior
- Analizar las causas y posibles soluciones al incumplimiento de tareas programadas
- Hacer un paralelo entre objetivos propuestos y alcanzados en el proyecto.
- Realizar toda la secuencia necesaria para tener el plan de trabajo de la siguiente semana.

Para lograr cumplir los asuntos planteados el coordinador del sistema de control y el último planificador deben llevar la siguiente información:

Coordinador:

- Programa maestro y planificación intermedia
- Comparación entre objetivos logrados y propuestos por el proyecto.

- ITE actualizado.

El ultimo planificador:

- PPC y causas de incumplimiento.
- Información del estado del trabajo.
- Lista tentativa de tareas para la nueva semana.
- Revisión de restricciones de las tareas.
- Listado de las tareas que entrarán a la planificación intermedia y la planeación de la semana anterior.

La metodología de implementación del Sistema Último Planificador queda detallada como:

- Reunión con el grupo de trabajo.
- Creación de la planificación intermedia.
- Creación del inventario de trabajo ejecutable.
- Creación de la planificación semanal.
- Medición de los indicadores PPC y CNC

En las implementaciones es importante que el grado de compromiso del equipo sea completo para tener una mejor fortaleza.

Los beneficios que trae la implementación del SUP son:

- Aumento de la seguridad en obra.
- Ayuda a estabilizar la producción.
- Facilita el control proactivo.
- Reduce los tiempos de espera.

- Fomenta relaciones eficaces.
- Funciona en proyectos grandes y pequeños.
- Añade valor al proyecto.
- Reduce los costes del personal especializado en obra.
- Fomenta el valor, el flujo y la transformación.

Causas de No Cumplimiento:

Las razones de No Cumplimiento, propuesto por Ballard y Howell 1994, son todas aquellas causas que no permitieron cumplir con la tarea programada en la programación semanal. La identificación de estas causas es parte del proceso de retroalimentación y así mejorar los planes futuros que se realicen.

	Construcción
Directivos	Cambio de diseño
	Información no comunicada.
Trabajo precedente	Aprobación necesaria no recibida.
	Los materiales no llegaron como lo acordado
	No se hubo respuesta de información requerida
	No se tuvo acceso a la zona de trabajo
Recursos	Inasistencia del personal
Proceso	Planeamiento de demasiado trabajo
	Coordinación inadecuada
	Emergencias

Figura 8: Algunas razones de incumplimientos comunes (Howell, Gregory.LCI)

1.7. Definición de términos básicos.

- Actividad o tarea: Cantidad de trabajo a ser realizado por un grupo de personas o cuadrilla para lograr el avance planificado del proyecto.
- Calidad: Características o especificaciones del producto, indica el grado de satisfacción del cliente.
- Construcción (Proyecto): Conjunto de acciones, desplazamientos, realizados de manera continua y metódica, por un periodo de tiempo finito y con recursos finitos.
- Cuadrilla: Conjunto de personas asignados a cumplir una actividad o tarea específica en el proyecto.
- Flujo de trabajo: Garantiza el funcionamiento armónico de la producción y el uso adecuado de los recursos materiales y humanos. Muestra el recorrido de la materia prima hasta convertirse en un producto terminado.
- Ejecutor: Persona o grupo de personas que ejecutan una actividad o tarea.
- Lean Construction: Filosofía de mejora continua en la industria de la construcción que implementando una serie de herramientas logra el incremento de la productividad en todos los procesos, pero sobre todo logra reducir y eliminar el desperdicio. Lo mismo que impacta positivamente en los costos asociados.
- Planificación: Estructuración de una serie de acciones que se llevan a cabo para cumplir objetivos determinados.

- Proceso: Es un conjunto de actividades o eventos, coordinados u organizados, que se realizan suceden de forma alternativa o simultánea, con un fin determinado.
- Partida: Conjunto de procesos agrupados con la finalidad de llevar un control de costos y ejecución de un proyecto.
- Productividad. Es la capacidad de una organización para agregar valor a los recursos que consume. Es hacer más (productos o servicios) con menos recursos. Es una medida del progreso técnico.
- Rendimiento de mano de obra: Cantidad de obra, expresada por unidad de medida, de alguna actividad realizada por unja cuadrilla, por unidad de recurso humano expresada en h.h. (Inverso del Consumo de mano de obra).
- Sistema del ultimo planificador:
- Sub-ciclo; Repetición de algunas acciones dentro de un ciclo en el método para ejecutar una actividad. Pueden presentarse nuevos sub-ciclos dentro de un sub-ciclo.
- Trabajo productivo (TP): Acción de un trabajador o una actividad que agrega valor, y este se ve reflejado en el producto final.
- Trabajo contributorio (TC): Trabajo de apoyo que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo pero que no agrega valor al producto.
- Trabajo no contributorio
- (TNC): Cualquier actividad que no agrega valor al producto.

1.8. Formulación de la hipótesis.

La aplicación de las herramientas de planificación de la filosofía Lean
Construction mejorará la productividad.

1.8.1. Variables

- **Variable Independiente:**

Filosofía Lean Construction

- **Variable Dependiente:**

Productividad

II. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1. Material:

a) Materiales.

Vehículo 4x4

Documentos del proyecto y Planos

Papel bond (A4)

Resaltador

Accesorios Complementarios

Lapiceros

USB

Laptop

Correctores

Grapas y Grapadora

Archivadores

b) Humano.

Asesor de tesis

Equipo Técnico de proyecto

Tesistas

Equipo de supervisión y ejecución de proyecto

c) Servicios.

Servicio de energía eléctrica

Servicio de telefonía celular

Servicio de internet

Servicios de Impresiones

Servicio de asesoría

d) Otros.

Servicio de consultor Promanagement Consulting

Adquisición de Equipos Informáticos y de Comunicaciones

2.2. Material de estudio.

2.2.1. Población.

Se considera como población al proyecto “PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA”

2.2.2. Muestra.

Se considera como muestra al proyecto “PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA”

Nombre del Proyecto: Construcción de “PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA”

Ubicación del Proyecto: Unidad Productiva Tantahuatay, Cienaga Norte – Cajamarca.

Tipo de estructura: Pad de lixiviación

Sistema estructural: Sistema de sub drenaje, sistema de revestimiento y sistema de colección de solución rica, sistema de sobre revestimiento.

Área a construir: 3.35 hectáreas

2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

2.3.1. Para recolectar datos.

Se toma como datos, los resultados de tiempo en el proyecto construcción del pad fase1 etapa1 – 4ta entrega, sin la aplicación de herramientas LEAN para proponer el planteamiento de mejora.

2.3.2. Para procesar datos.

Se toma como datos, los resultados del proyecto utilizando las herramientas de planificación Lean Construction, nivel de actividad general y Sistema del último planificador, usando los formatos implementados por Promanagement Consulting en colaboración con los autores, luego se llevó estos datos al programa Microsoft Excel para realzar los gráficos correspondientes.

2.4. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICION
Filosofía Lean Construction	Lean Construction persigue la excelencia a través de un proceso de mejora continua en la empresa, que consiste fundamentalmente en minimizar o eliminar todas aquellas actividades y transacciones que no añaden valor, a través de la optimización de recursos	Last Planner System	Tiempo Programado (semanas)	Numérica
			Tiempo Real (semanas)	
			Tiempo Acumulado (semanas)	

	y la maximización de la entrega de valor al cliente, para diseñar y producir a un menor coste, con mayor calidad, más seguridad y con plazos de entrega más cortos, dentro de un marco ecológico con el entorno.		Presupuesto Real	
Productividad	Es la capacidad de una organización para agregar valor a los recursos que consume. Es hacer más (productos o servicios) con menos recursos. Es una medida del progreso técnico. Es la utilización eficiente	Medición de la Productividad	Trabajo Productivo	Intervalos
			Trabajo Contributorio	
			Trabajo No Contributorio	
		Evaluación de la Productividad	Índice de Productividad (IP)	
			Distribución de Tiempos	

	de los recursos (insumos) al producir bienes (productos) y/o servicios.		Distribución de Trabajo
			Contributorio y No Contributorio
		Planeación de la Productividad	Planeación Semanal Restricciones

III. RESULTADOS.

3.1.1. PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA

El presente plan de mejora en el proyecto “PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA” se hace necesario ya que, al momento de la aplicación de las herramientas de planificación de la filosofía Lean Construction, el proyecto presentaba considerable atraso, con un desempeño malo en diferentes indicadores y con una proyección negativa a término de obra.

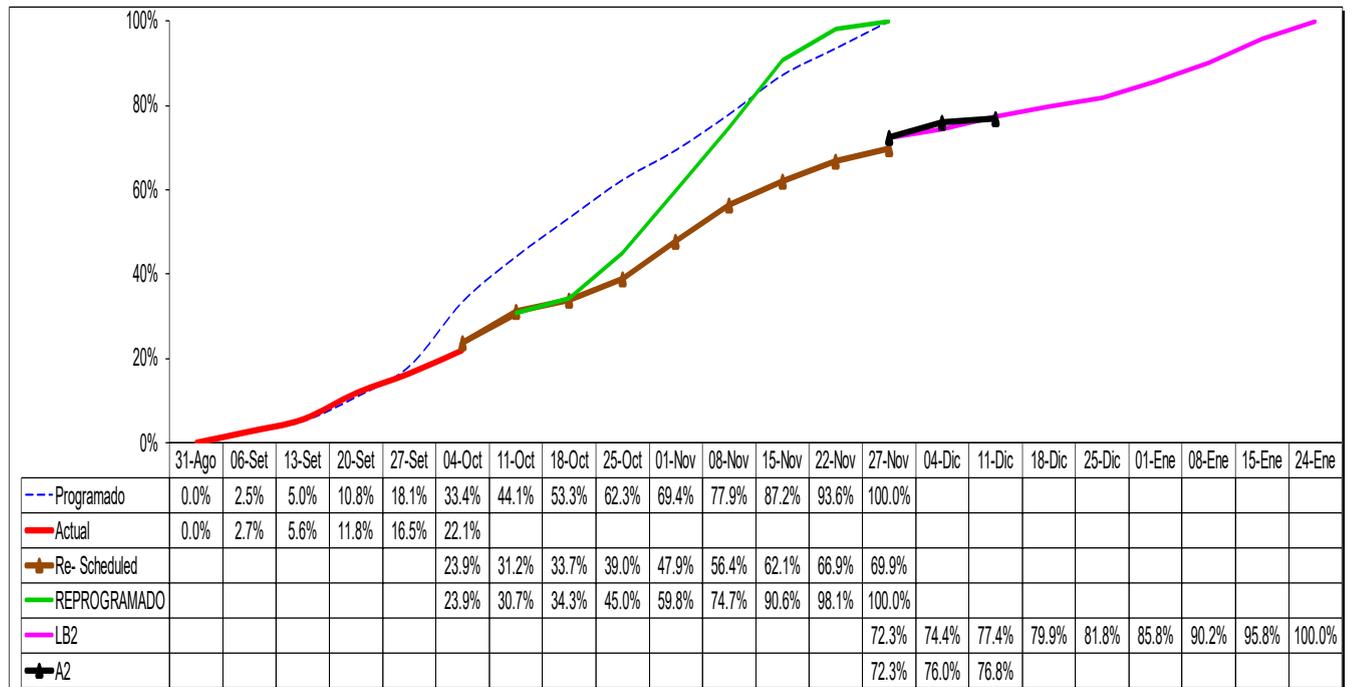
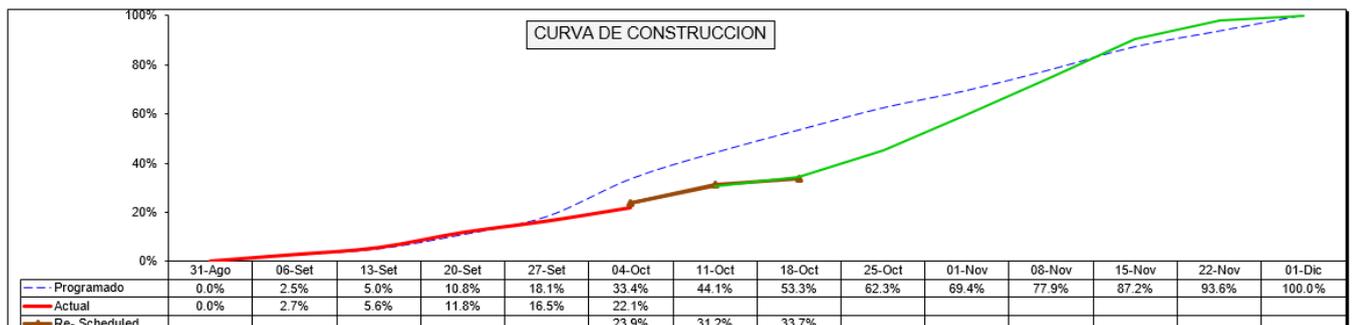


Figura 9: Curva de construcción



PANEL DE CONTROL

FS-TAN-PR-11-07
Rev. 0
Fecha: 08/11/13

SCHEDULE

	Planeado	Real	Variación	Días
Construcción	53.3%	33.7%	-19.60%	
Valorización (K-S)	595.72	616.03	20.31	

MILESTONES

	Planeado	Estimado	Variación	Días
Fecha Término	02Dic2020	02Dic2020		0

Figura 10: Estado del proyecto

Como se evidencia, en las figuras 9 y 10, el reporte de desempeño del proyecto indica que la variación entre el avance planificado y el real ejecutado, es de -19.60%, para muchos proyectos y sistemas de gestión esta diferencia es crítica, convirtiendo al proyecto en irrecuperable, en términos de algunos gestores de proyectos, sin embargo mediante las herramientas de planificación de la filosofía Lean Construction que aplicaremos en la presente tesis, notaremos como se pueden identificar específicamente los aspectos que contribuyen al atraso del proyecto, cuáles son las restricciones no liberadas a tiempo y el porqué, además del área, departamento o grupo de personas encargado y/o responsable. También se obtendrá información valiosa como lecciones aprendidas para aplicación de futuros proyectos.

A. HERRAMIENTAS LC

Las Herramientas de Planificación Len Construction, usadas en la presente tesis son:

- a. Nivel de Actividad General:** Con la aplicación de esta herramienta lograremos identificar la cantidad de tiempo Productivo real, el tiempo

usado para actividades Contributorias a las actividades programadas y, el tiempo que no genera valor como es el tiempo gastado en actividades NO CONTRIBUTORIAS.

Las actividades analizadas:

Movimiento de tierras – Corte, la misma que considera como Trabajo Productivo al Corte con excavadora, Corte con Tractor, Carguío y Eliminación de materiales.

Trabajo Contributorio Replanteo topográfico, Recepción de indicaciones y/o revisión de planos, selección y voleo de material mineral con excavadora, empuje adicional de materiales con tractor, verificación de aseguramiento de calidad. Trabajo NO Contributorio a las esperas por voladuras atrasadas, espera por la necesidad de identificación y clasificación del material volado (mineral), acondicionamientos de Depósitos y zonas de descarga de mineral.

Proyecto		"PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA"	
actividad		Movimiento de Tierras - Corte	
TIPO DE DESPILFARRO	DESCRIPCION		
NO PREGUNTAR			
RETRABAJO			
ESPERAS			
PRODUCIR DE MAS			
EXCESO DE PROCESAMIENTO			
TRANSPORTE			
INVENTARIO			
RESIDUOS			

Trabajo Productivo	
1	Corte con excavadoras 336
2	Corte con Tractor
3	Carguío y Eliminación de material
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

Trabajo Contributorio	
1	Replanteo Topografico
2	Recibe indicaciones / planos
3	Selección y voleo de mineral con excavadora
4	Empuje adicional de materiales con tractor
5	Verificación QA
6	
7	
8	
9	
10	

Trabajo No Contributorio	
11	Esperas por Voladura atrasada
12	Espera por Identificación de Material (minera)
13	Acondicionamiento de Depositos
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Figura 11: Formato para medir Nivel de Actividad General - Movimiento de Tierras- "Promanagement consulting"

Se obtuvieron los siguientes resultados del monitoreo realizado en campo:

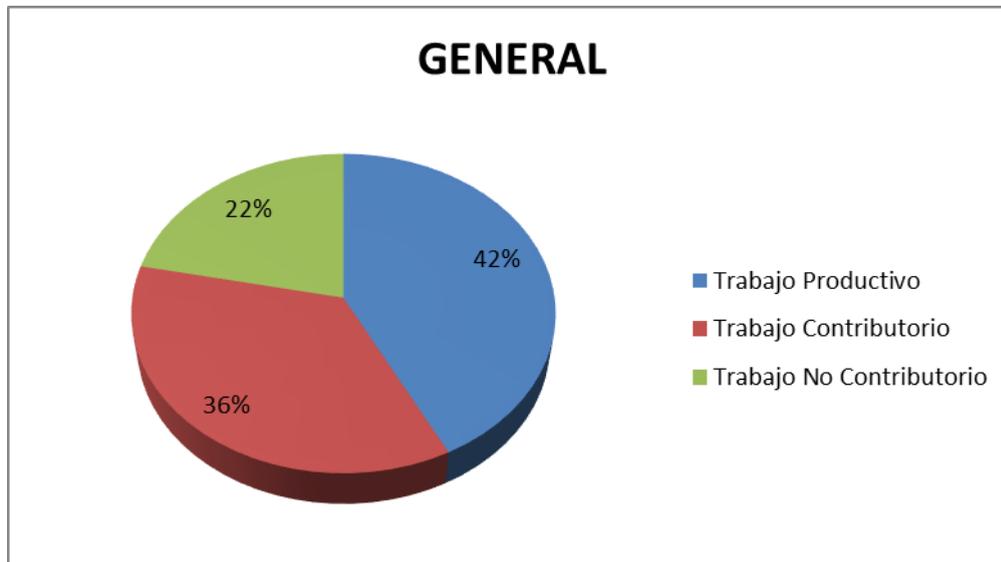


Figura 12: Porcentaje de tiempo empleado -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)

Encontramos que el trabajo realmente productivo alcanza solo un 42%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un excesivo 36%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, representa un gran 22%

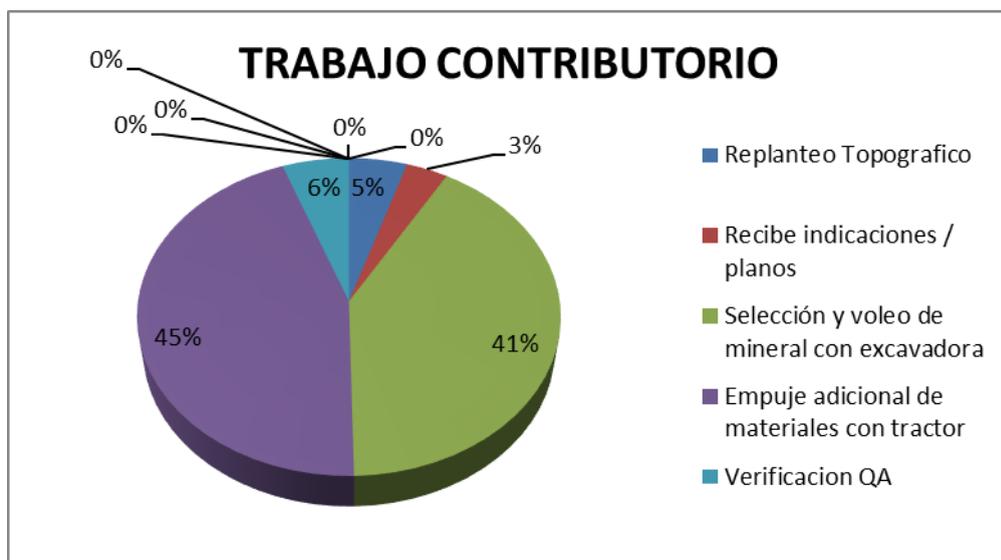


Figura 13: Trabajo Contributorio – Movimiento de Tierras- (Fuente propia)

Se evidencia que de todo el trabajo Contributorio el de mayor incidencia es el Empuje adicional de materiales con Tractor con una representación del 45%, la selección y voleo de mineral con excavadora representa un 41%, el tiempo necesario para que se realice la verificación por el auditor QA representa un 6%, el replanteo topográfico representa un 5%, y el tiempo usado para recibir indicaciones o revisión de planos de diseño representa un 3%.

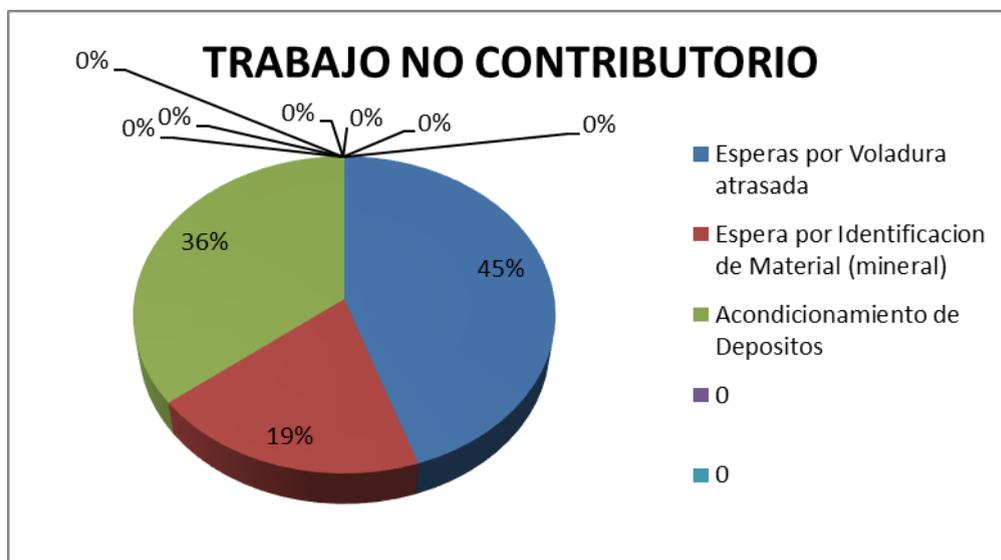


Figura 14: Trabajo No Contributorio -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)

Donde se evidencia que el 45% del tiempo gastado es a causa de las esperas por los proyectos de voladura atrasados, el 36% del tiempo se usa para acondicionar los depósitos de materiales o zonas de descarga de mineral en el pad de lixiviación, y el 19% del tiempo representan las esperas mientras el equipo de geólogos identifica si el material producto de la voladura es mineral o no, con lo que se procede a su Disposición.

Concreto de 21MPA, la misma que considera como Trabajo Productivo al Vaciado de concreto, Encofrado y desencofrado, Curado. Trabajo Contributorio, Replanteo topográfico, Recepción de indicaciones y/o revisión de planos, Traslado de herramientas, Traslado de insumos, verificación de aseguramiento de calidad. Trabajo NO Contributorio a las esperas por Indicaciones, Tiempo gastado en ir al baño, tiempo gastado en Refrigerio.

Trabajo Productivo		Obra	"PAD FASE 1, ETAPA 1 (3.35 Ha) - CIENAGA NORTE – 4TA ENTREGA"
1	Vaciado de concreto	actividad	CONCRETO 21MPA
2	Encofrado y desencofrado		
3	Curado		
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Trabajo Contributorio			
1	Replanteo Topografico		
2	Recibe indicaciones / planos		
3	Traslado de herramientas		
4	Traslado de Insumos		
5	Verificacion QA		
6			
7			
8			
9			
10			
Trabajo No Contributorio			
11	Esperas de indicaciones		
12	Ir al baño		
13	Refrigerio		
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
		TIPO DE DESPILFARRO	DESCRIPCION
		NO PREGUNTAR	
		RETRABAJO	
		ESPERAS	
		PRODUCIR DE MAS	
		EXCESO DE PROCESAMIENTO	
		TRANSPORTE	
		INVENTARIO	
		RESIDUOS	

Figura 15: Formato para medir Nivel de Actividad General - Concreto 21MPA- "Promanagement consulting"

Se obtuvieron los siguientes resultados del monitoreo realizado en campo

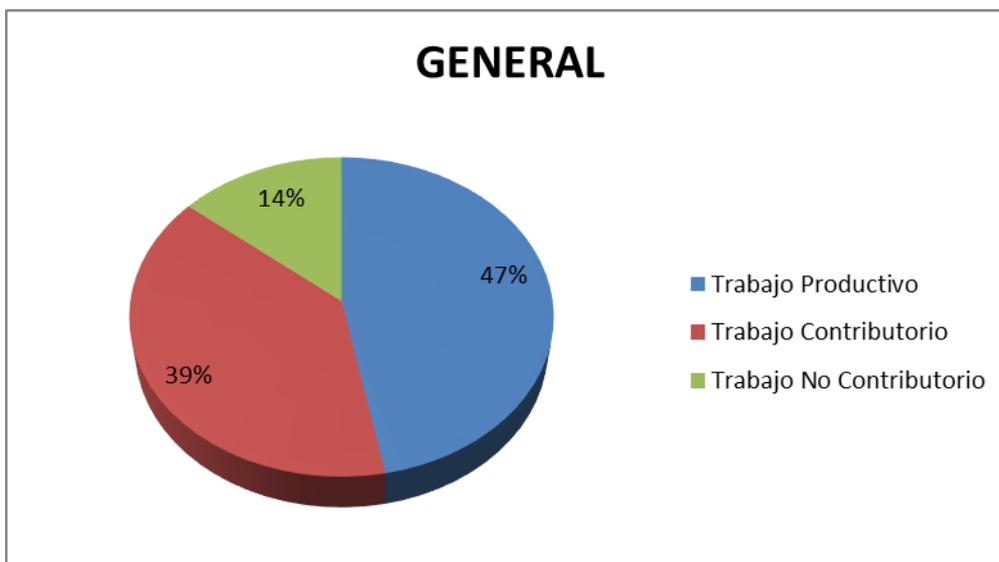


Figura 16: Porcentaje de tiempo empleado -Concreto 21MPA - (Fuente propia)

Encontramos que el trabajo realmente productivo alcanza solo un 47%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un excesivo 39%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, representa un gran 14%

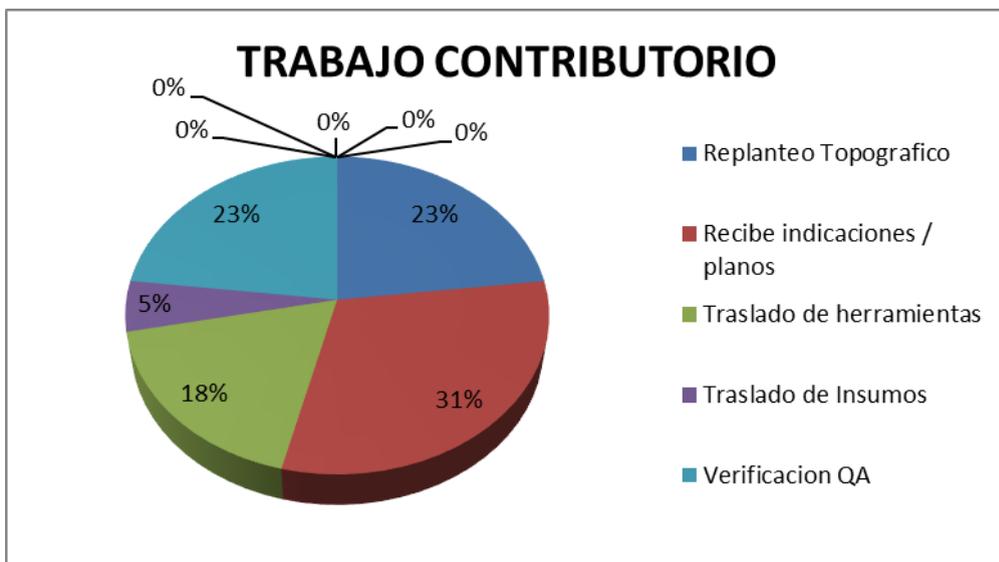


Figura 17: Trabajo Contributorio – Concreto 21MPA- (Fuente propia)

Se evidencia que de todo el trabajo Contributorio el de mayor incidencia es recibir indicaciones y revisión de planos con un 31%, el replanteo topográfico representa un 23%, la verificación del auditor QA representa otro 23%, el traslado de herramientas representa un 18%, y el traslado de insumos representa un 5%.

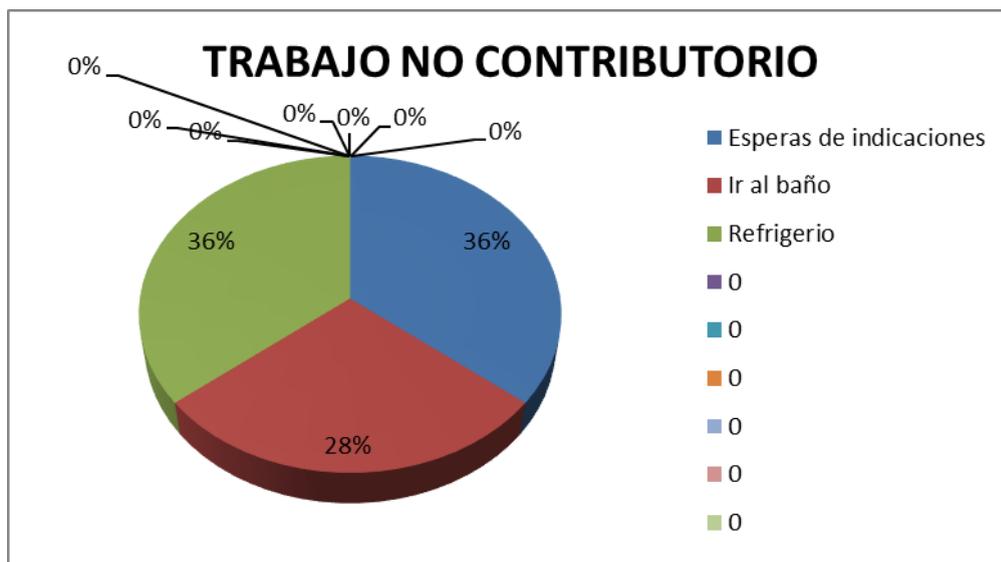


Figura 18: Trabajo No Contributorio -Concreto 21MPA - (Fuente propia)

Donde se evidencia que el 36% del tiempo gastado es a causa de las esperas por indicaciones, otro 36% del tiempo se usa para tomar un refrigerio, y el 28% del tiempo representan el tiempo que el personal de las cuadrillas usa para ir al baño o asearse.

b. SUP – Sistema del Ultimo Planificador

También conocido con su nombre en inglés, Last Planner System, el mismo que reúne y usa varias herramientas Lean, de las cuales en la presente tesis para mejorar la productividad del proyecto aplicaremos:

1. **LOOKAHEAD** para planificar lo necesario con un horizonte de 4 semanas adelante y liberar las restricciones de las actividades de manera oportuna.
2. **PPC**, el cual compara lo que se planeó hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho en el proyecto.
3. **CNC**, aquellas causas que no permitieron cumplir con lo programado en el plan de trabajo semanal.

Descripción	UND	MTDO Contra.	Medrado Forecast	Acum. Actual	MTDO Estado	Inicio Look Ahead	FINAL LC1	DURACION	INICIO Línea Base	FINAL Línea Base	43	%Sem	44	%Sem	45	%Sem
ETAPA DE EJECUCIÓN																
PAD FASE 1 ETAPA 1 (3.35 ha) - CN -4ta ENTREGA																
TRABAJOS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIOS																
Mobilización y desmobilización de equipos	qbs	1	1		1.00	18-Oct-20	21-Nov-20		18-Oct-20	21-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Facilidades temporales	qbs	1	1		1.00	31-Ago-20	04-Sep-20		31-Ago-20	04-Sep-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Trazo y Recortado	mas	3	3		3.00	31-Ago-20	21-Nov-20		31-Ago-20	21-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
ETAPA DE EJECUCIÓN PRINCIPAL ENTREGA																
MOVIMIENTO DE TIERRAS																
EXCAVACIONES																
Corte, carga, transporte y empuje de material fértil, 0.1 km	m3	8,961.10	7,516.15	7,516.15					18-Oct-20	21-Nov-20		0.00%	-	2.18%	-	0.00%
Transporte adicional de material fértil, 0.1 km d. aproximado 4.7 Km	m3.km	41,835.59	25,796.47	25,796.47					18-Oct-20	21-Nov-20		0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Corte, carga, transporte y empuje de material simple, 0.1 km	m3	27,183.09	27,183.09	11,700.00	18,483.09	18-Oct-20	02-Nov-20	15.00	15-Sep-20	25-Oct-20	7,202.11	0.15%	7,202.11	0.15%	1,028.87	0.02%
Transporte adicional de material simple, 0.1 km d. aproximado 0.3 Km	m3.km	13,901.85	13,901.85	2,074.00	11,827.85	18-Oct-20	25-Oct-20	7.00	18-Oct-20	25-Oct-20	6,017.50	0.24%	6,017.50	0.24%	791.52	0.01%
Corte, carga, transporte y empuje de roca riposteable, 0.1 km	m3	17,026.17	17,026.17	11,014.00	6,012.17	18-Oct-20	03-Nov-20	16.00	15-Sep-20	03-Nov-20	2,630.32	0.05%	2,630.32	0.05%	751.52	0.01%
Transporte adicional de roca riposteable, 0.1 km d. aproximado 0.5 Km	m3.km	8,513.09	12,483.96	11,215.00	1,268.96	18-Oct-20	03-Nov-20	16.00	18-Oct-20	03-Nov-20	555.17	1.31%	555.17	1.31%	158.62	0.38%
Cargado, transporte y empuje de material producido de voladura, 0.1 km	m3	19,928.17	19,928.17	38,756.00	38,756.17	18-Oct-20	09-Nov-20	23.00	09-Nov-20	09-Nov-20	11,198.87	0.27%	11,198.87	0.27%	11,198.87	0.27%
Transporte adicional de material producido de voladura, 0.1 km d. aproximado 0.5 Km	m3.km	38,963.09	38,963.09	37,288.00	1,675.09	18-Oct-20	09-Nov-20	23.00	23-Sep-20	09-Nov-20	3,075.25	0.15%	3,075.25	0.15%	3,075.25	0.15%
Pellado de taludes con picotón para zona de roca	m2	8,965.00	8,965.00	3,089.00	5,876.00	18-Oct-20	05-Nov-20	16.00	23-Sep-20	05-Nov-20	2,261.78	0.25%	2,261.78	0.25%	1,292.44	0.15%
Instalación de accesos y plataformas para perforación	m3	4,200.00	4,200.00	2,350.00	1,850.00	18-Oct-20	23-Oct-20	6.00	18-Oct-20	23-Oct-20	1,930.00	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
RELLENO																
Colocación y compactación de relleno masivo propio	m3	8,500.00	1,500.00	1,500.00	0.00	01-Nov-20	12-Nov-20	12.00	01-Nov-20	12-Nov-20	-	0.00%	128.17	0.01%	894.17	0.06%
Colocación y compactación de relleno estructural en pad de habitación, camino y canal perimetral	m3	1,300.00	1,300.00	1,300.00	0.00	04-Nov-20	12-Nov-20	8.00	04-Nov-20	12-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	377.14	0.16%
Transporte, colocación y compactación de relleno estructural en bermas de seguridad	m3	1,250.00	1,250.00	1,250.00	0.00	05-Nov-20	18-Nov-20	14.00	05-Nov-20	18-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Suministro, colocación y compactación de capa de rodadura ($e=0.20\text{m}$)	m3	799.20	799.20	799.20	0.00	12-Nov-20	24-Nov-20	13.00	12-Nov-20	24-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
TRABAJOS DE CONSERVACION																
Excavación en sistema de subdrenaje (incluye carga y eliminación)	m3	520.00	520.00	520.00	0.00	01-Nov-20	17-Nov-20	17.00	01-Nov-20	17-Nov-20	-	0.00%	30.59	0.00%	214.12	0.84%
Suministro, transporte y colocación de grava en sistema de subdrenaje	m3	312.00	312.00	312.00	0.00	13-Nov-20	25-Nov-20	13.00	13-Nov-20	25-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Relleno en trincheras de subdrenaje con material propio	m3	172.72	172.72	172.72	0.00	28-Nov-20	01-Dic-20	4.00	28-Nov-20	01-Dic-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Geotextil no tejido de 270 g/m2	m2	368.00	368.00	368.00	0.00	25-Nov-20	28-Nov-20	4.00	25-Nov-20	28-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Tubería de HDPE perforada de pared doble de 300 mm, (incluye accesorios)	m	260.00	260.00	260.00	0.00	17-Nov-20	21-Nov-20	5.00	17-Nov-20	21-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
TRABAJOS DE OBRAS DE ACERQUE																
Excavación de trincheras de anclaje en bermas perimetral de pad de lavación (incl. Cargado y eliminación)	m3	234.65	295.76	295.76	295.76	21-Oct-20	15-Nov-20	23.00	24-Oct-20	15-Nov-20	25.72	2.81%	59.91	5.33%	80.61	9.15%
Colocación y compactación de relleno en trincheras de anclaje de bermas perimetral con material propio	m3	234.65	295.76	295.76	295.76	21-Oct-20	21-Nov-20	32.00	21-Oct-20	21-Nov-20	46.21	0.65%	64.70	0.96%	64.70	0.92%
Instalación de Geomembrana LDPE 0.3 mm de 2.0 mm en pad de lavación	m2	20,789.83	20,789.83	20,789.83	20,789.83	21-Oct-20	02-Dic-20	40.00	24-Oct-20	02-Dic-20	1,489.43	0.13%	5,213.91	0.48%	5,213.91	0.48%
Revestimiento Geotextil de Acrílico Local en PAD	m2	53,777.05	29,777.05	29,777.05	29,777.05	24-Oct-20	02-Dic-20	40.00	24-Oct-20	02-Dic-20	1,489.43	0.03%	5,213.91	0.06%	5,213.91	0.06%
Corte, carga y transporte de suelto de baja permeabilidad 0.1 km	m3	2,000.00	2,000.00	2,000.00	0.00	25-Oct-20	04-Nov-20	11.00	25-Oct-20	04-Nov-20	181.82	0.00%	1,372.73	0.32%	545.40	0.14%
Transporte adicional de material de suelto de baja permeabilidad 0.1 km d. aproximado 0.3 Km	m3.km	13,700.00	13,700.00	13,700.00	13,700.00	25-Oct-20	04-Nov-20	4.00	25-Oct-20	04-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	5,137.50	0.51%
Preparación, colocación y compactación de suelto de baja permeabilidad en pad de lavación	m2	2,000.00	2,000.00	2,000.00	0.00	04-Nov-20	15-Nov-20	12.00	04-Nov-20	15-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	633.33	0.45%
Instalación de Geomembrana	m2	9,315.15	9,315.15	9,315.15	9,315.15	18-Oct-20	13-Nov-20	26.00	18-Oct-20	13-Nov-20	2,021.23	1.96%	2,921.23	1.96%	2,921.23	1.96%
Cargado, transporte y colocación de material de sobrio revestimiento ($e=0.70\text{ m}$) modátlim	m3	20,388.64	15,000.00	15,000.00	15,000.00	18-Oct-20	02-Dic-20	36.00	18-Oct-20	02-Dic-20	-	0.00%	2,863.33	0.86%	2,863.33	0.86%
Transporte adicional de material de sobrio revestimiento 0.1 km d. aproximado 7.80 Km	m3.km	159,109.39	102,000.00	102,000.00	102,000.00	30-Oct-20	13-Nov-20	15.00	30-Oct-20	13-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	20,400.00	0.00%
TRABAJOS DE OBRAS DE PAVIMENTACION																
Tubería de HDPE perforada de pared doble de 300 mm (incluye accesorios)	m	488.97	488.97	488.97	488.97	26-Nov-20	03-Dic-20	7.00	26-Nov-20	03-Dic-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
Tubería de HDPE perforada de pared doble de 150 mm (incluye accesorios)	m	236.00	236.00	236.00	236.00	25-Nov-20	02-Dic-20	4.00	25-Nov-20	02-Dic-20	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
OBRAS DE ARTE																
TRABAJOS DE OBRAS DE ACERQUE																
Excavación de material suelto (incluye carga y eliminación)	m3	384.70	384.70	384.70	384.70	02-Nov-20	06-Nov-20	5.00	02-Nov-20	06-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	384.70	0.25%
Excavación en roca (incluye carga y eliminación)	m3	205.00	205.00	205.00	205.00	04-Nov-20	15-Nov-20	12.00	04-Nov-20	15-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	85.62	0.27%
Perfilado manual de caja de canal	m2	723.79	723.79	723.79	723.79	04-Nov-20	24-Nov-20	20.00	04-Nov-20	24-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	139.19	0.05%
Instalación de geotextil no tejido de 200g/m2	m2	1,365.39	1,365.39	1,365.39	1,365.39	04-Nov-20	21-Nov-20	18.00	04-Nov-20	21-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	379.28	0.09%
Instalación de geotextil 1 m de ancho	m2	1,365.39	1,365.39	1,365.39	1,365.39	04-Nov-20	24-Nov-20	21.00	04-Nov-20	24-Nov-20	-	0.00%	-	0.00%	333.09	0.09%
Concreto de Fc210 kg/cm^2 (Cemento tipo I)	m3	139.54	139.54	139.54	139.54	04-Nov-20	02-Dic-20	29.00	04-Nov-20	02-Dic-20	-	0.00%	-	0.00%	23.84	0.12%

Figura 19: Lookahead retroactivo para determinar el grado de cumplimiento de la programación (Fuente Propia)

Se implementó un Lookahead retroactivo para determinar el grado de cumplimiento de la programación hasta ese momento de ejecución, semana 43, con el cual se pudo obtener el PPC, además se identificó las causas de no cumplimiento generando la estructura de control de las mismas por categorías.

SEMANAS	ACTIVIDADES PROGRAMADAS	ACTIVIDADES CUMPLIDAS	ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS	PPC	PPC ACUM
SEM 36	2	1	1	50%	50%
SEM 37	3	2	1	67%	60%
SEM 38	7	5	2	71%	67%
SEM 39	9	6	3	67%	67%
SEM 40	6	4	2	67%	67%
SEM 41	5	3	2	60%	66%
SEM 42	8	2	6	25%	58%
SEM 43	10	3	7	30%	52%

Figura 20: Porcentaje de plan completado (Fuente propia)

Se obtiene que en la semana 36 de construcción del proyecto, se ha tenido un 50% de cumplimiento de lo planificado, en las semanas siguientes se nota un incremento pero que no llega a cumplir con lo planificado, y finalmente el cumplimiento decae drásticamente en las semanas 42 y 43, con lo que se inicia la aplicación de las herramientas LC.

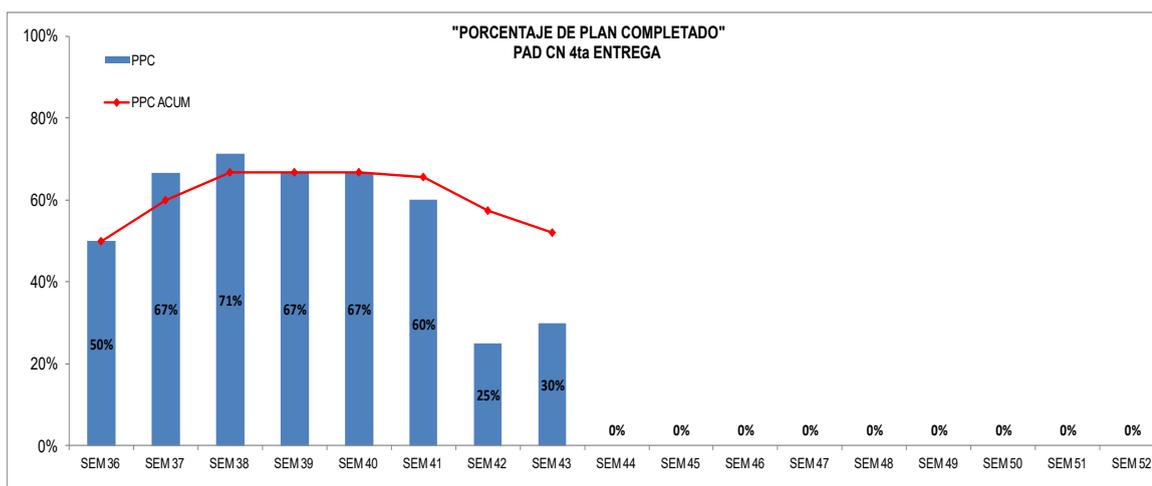


Figura 21: Curva de plan completado acumulado (Fuente Propia)



Se evidencia un PPC acumulado en la construcción del proyecto del 52% a la semana

43.

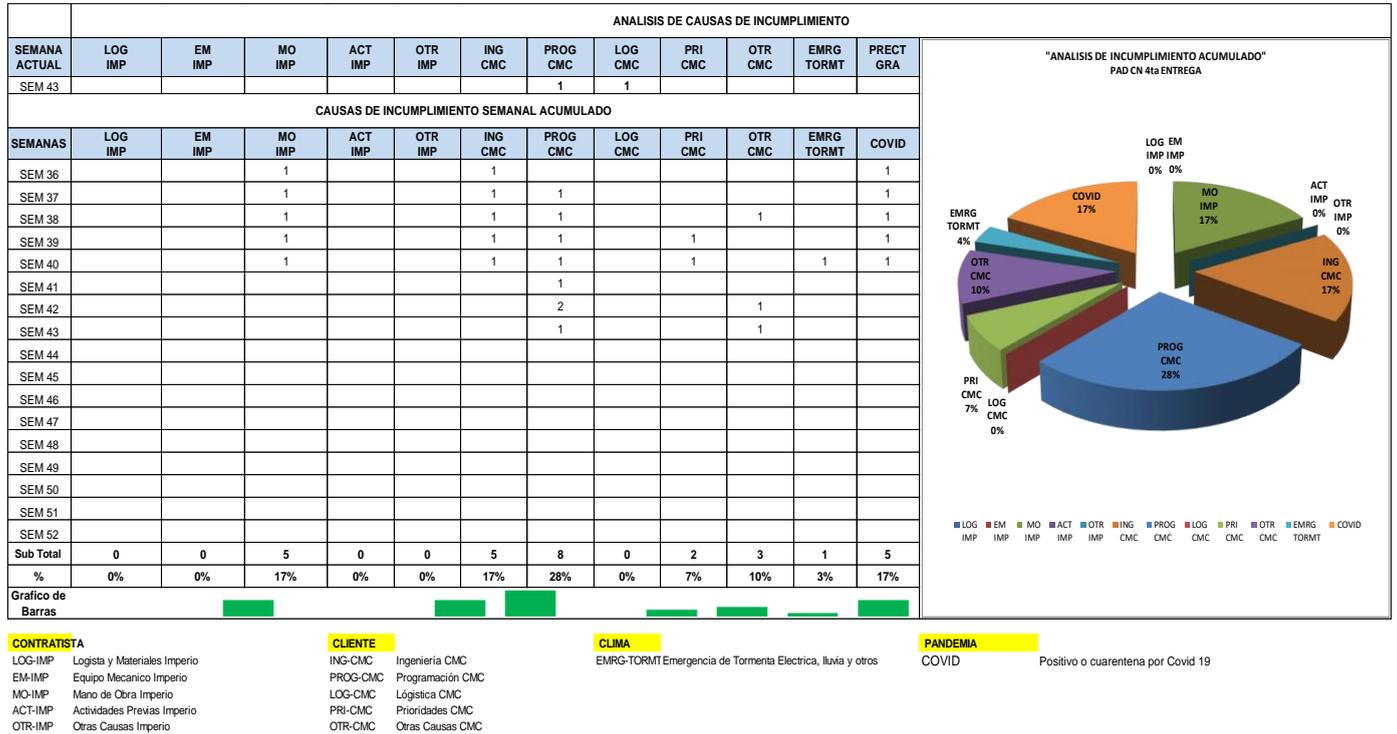


Figura 22: Causas de no cumplimiento (Fuente Propia)

Se evidencia que el mayor impacto al cumplimiento de lo planificado obedece a la programación del cliente con 28%, los cambios en la ingeniería de detalle significan un 17%, la falta de mano de obra del contratista representa un 17 % y otro 17% se les atribuye a los efectos por el Covid-19, Otras cnc por parte del cliente representa un 10%, las prioridades del cliente representan 7%, y el factor climático un 4%.

Causas de No Cumplimiento						
CONTRATISTA						
LOG-IMP	Logista y Materiales Imperio					
EM-IMP	Equipo Mecanico Imperio					
MO-IMP	Mano de Obra Imperio					
ACT-IMP	Actividades Previas Imperio					
OTR-IMP	Otras Causas Imperio					
CLIENTE						
ING-CMC	Ingeniería CMC					
PROG-CMC	Programación CMC					
LOG-CMC	Lógica CMC					
PRI-CMC	Prioridades CMC					
OTR-CMC	Otras Causas CMC					
1	Desbroce de topsoil y corte simple suspendidos por cambio en Ingeniería					
2	Suspensión de voladuras					
3	Paralización de actividades por temas sociales					
4	No se ejecuta corte de material por falta de diseño definitivo de banquetta intermedia					
5	CMC indica no eliminar materiales por presencia de mineral					
6	No se cuenta con el diseño definitivo de banquetta intermedia					
7	Voladura no se ejecuta de acuerdo al plan presentado por Imperio					
8	Se realiza actividades no contempladas en el alcance inicial como boleó y empuje de material volado					
9	Se realiza separación de mineral con argílico					
10	Paralización de actividades por voladura (duración del protocolo mas extenso)					
11	Interferencias en la eliminación de materiales con otras empresas					
12	No se cumple con la voladura programada					
13	Programación de voladuras					
CLIMA						
EMRG-TORMT	Emergencia de Tormenta Elctrica, lluvia y otros					
1	No se ejecuta actividades por lluvias					
2	Tormenta eléctrica en el turno					
3	Paralización de actividades por vientos fuertes					
PANDEMIA						
COVID	Positivo o cuarentena por Covid 19					
1	Casos positivos					
2	Ausentismo del personal					

Figura 23: Categorías de Causas de no cumplimiento (Fuente Propia)

Se consideran las categorías de la figura 23 como las causas de no cumplimiento principales en la ejecución del proyecto a la semana 43.

Se ha evidenciado que con la aplicación de las herramientas Lean Construction se obtiene mejoras considerables en la productividad, ya que entre otras cosas se obtiene el flujo continuo del trabajo, y que tanto el flujo como los procesos sean eficientes, como se nota en los siguientes resultados:

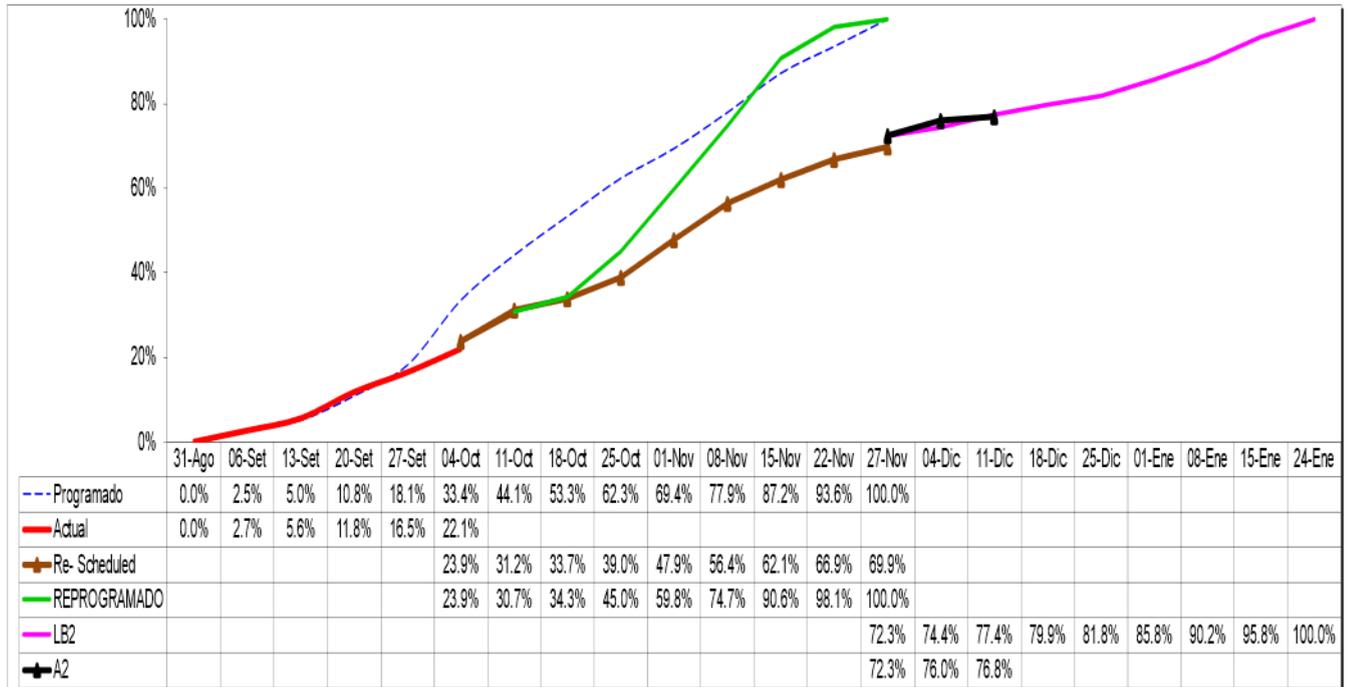


Figura 24: Nueva Curva de construcción

PANEL DE CONTROL

FS-TAN-PR-11-07
Rev. 0
Fecha: 08/11/13

SCHEDULE

	Planeado	Real	Variación	Días
Construcción	77.4%	76.8%	-0.6%	
Valorización (K-\$)	1,551.72	1,551.13	(0.59)	

MILESTONES

	Planeado	Estimado	Variación	Días
Fecha Término	02Dic2020	24Ene2021		53

Figura 25: Nuevo Estado del Proyecto

Como se evidencia, en las figuras 24 y 25, el reporte de desempeño del proyecto indica que el proyecto se encuentra al día, saludable y con pronóstico favorable a término de obra, la variación entre el avance planificado y el real ejecutado es

mínima y aceptable -0.60% , demostrando que la aplicación de la filosofía Lean Construction y sus herramientas han aportado significativamente en la gestión del proyecto y el incremento considerable de la productividad, como se evidencia en las siguientes Figuras mostradas por Actividad y tipo:

Nivel de actividad general

Movimiento de tierras - Corte

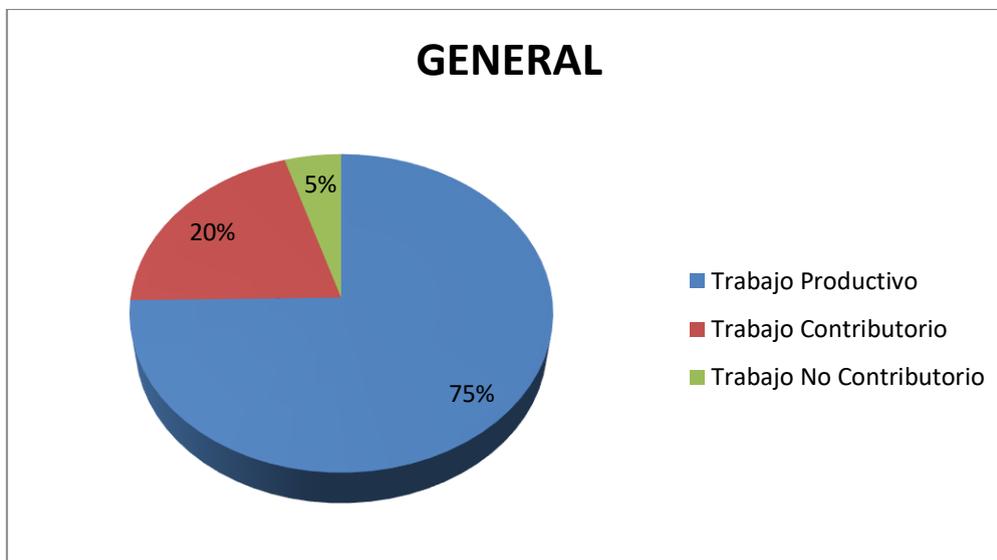


Figura 26: Nuevo Porcentaje de tiempo empleado -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)

Encontramos que el trabajo productivo representa un 75%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un 20%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, solo representa un 5%

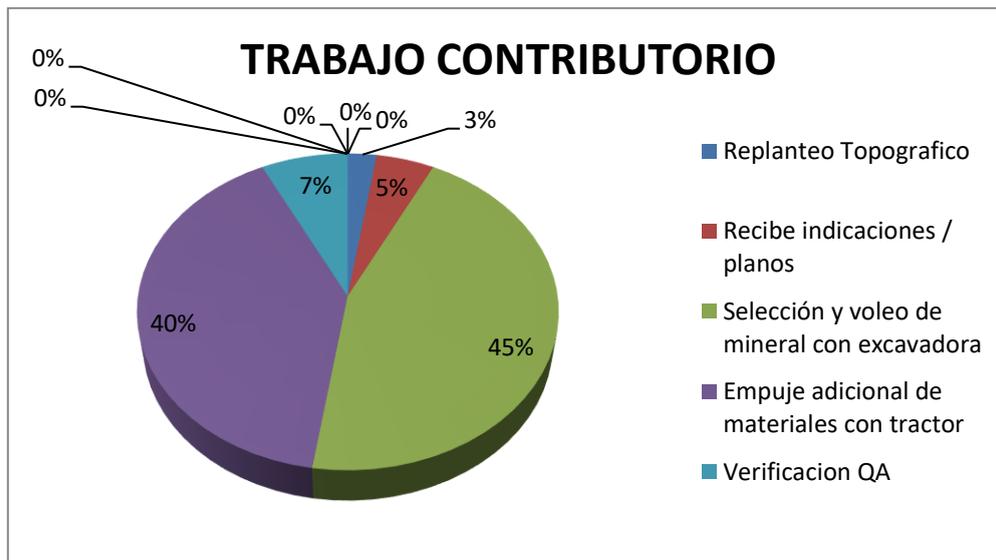


Figura 27: Nuevo Trabajo Contributorio – Movimiento de Tierras- (Fuente propia)

Se evidencia que de todo el trabajo Contributorio la Selección y voleo de mineral con excavadora representa un 45%, seguido del Empuje adicional de materiales con tractor con un 40%, la Verificación QA representa un 7%, Recibir indicaciones y revisión de planos representa un 5% y el replanteo topográfico representa un 3%.

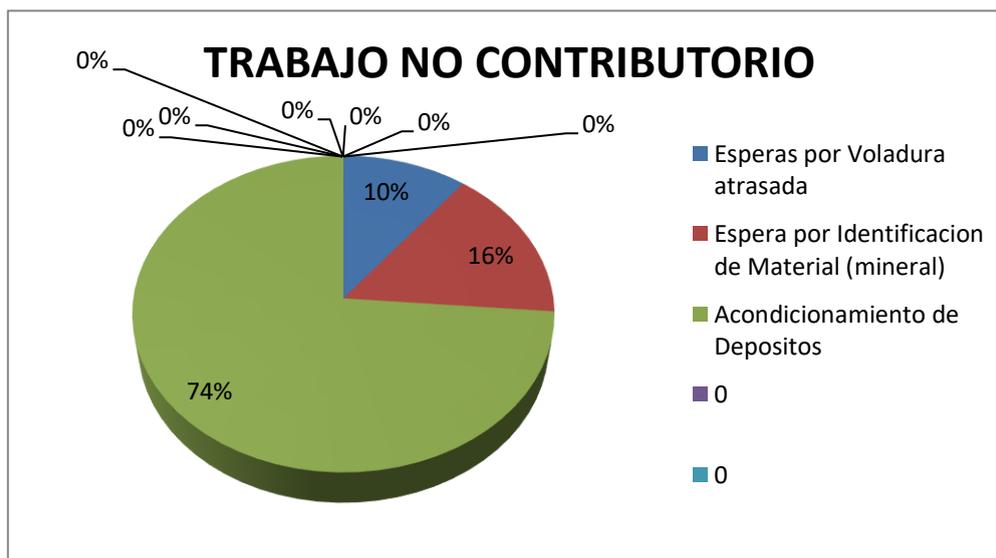


Figura 28: Nuevo Trabajo No Contributorio -Movimiento de Tierras- (Fuente propia)

Donde se evidencia que el 74% del tiempo gastado se usa para acondicionar los depósitos de materiales o zonas de descarga de mineral en el pad de lixiviación, el 16% representa la Espera por identificación de material mineral, y el 10% representan las Esperas por voladuras atrasadas.

Concreto de 21MPA

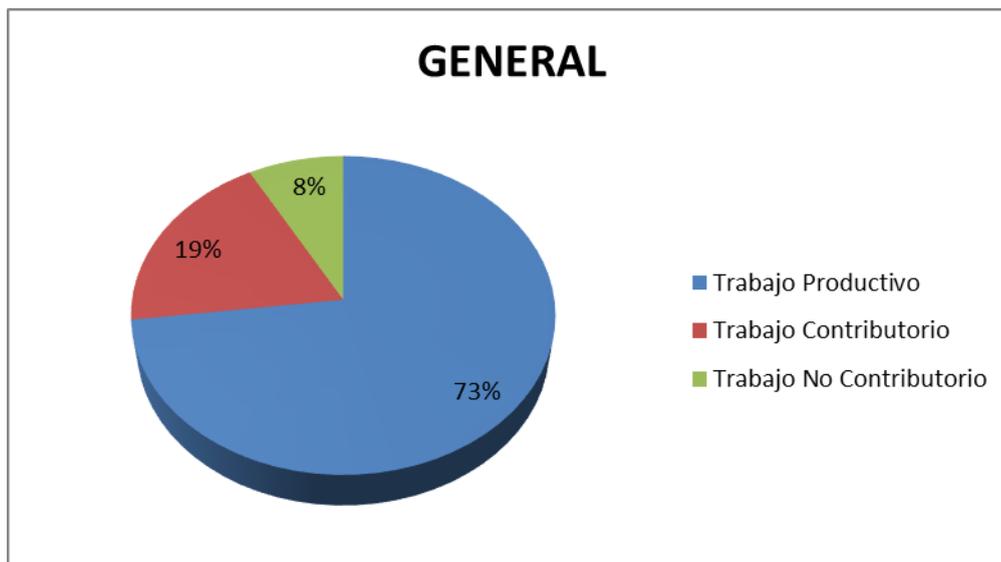


Figura 29: Nuevo: Porcentaje de tiempo empleado -Concreto 21MPA - (Fuente propia)

Encontramos que el trabajo productivo representa un 73%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un 19%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, solo representa un 8%.

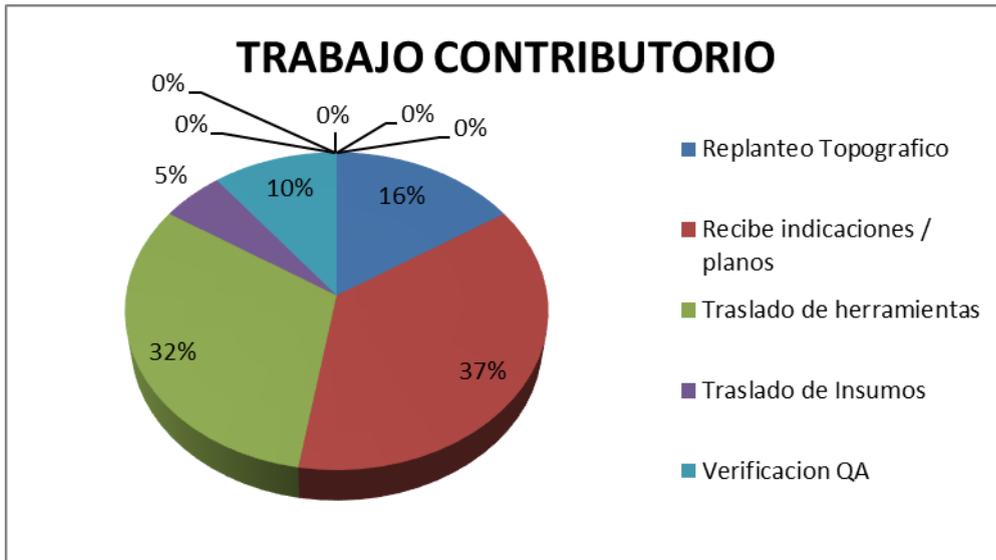


Figura 30: Nuevo Trabajo Contributorio – Concreto 21MPA- (Fuente propia)

Se evidencia que de todo el trabajo Contributorio, Recibir indicaciones y revisión de planos representa un 37%, el Traslado de herramientas representa un 32%, el replanteo topográfico representa un 16%, la Verificación QA representa un 10%, el Traslado de insumos representa un 5%.

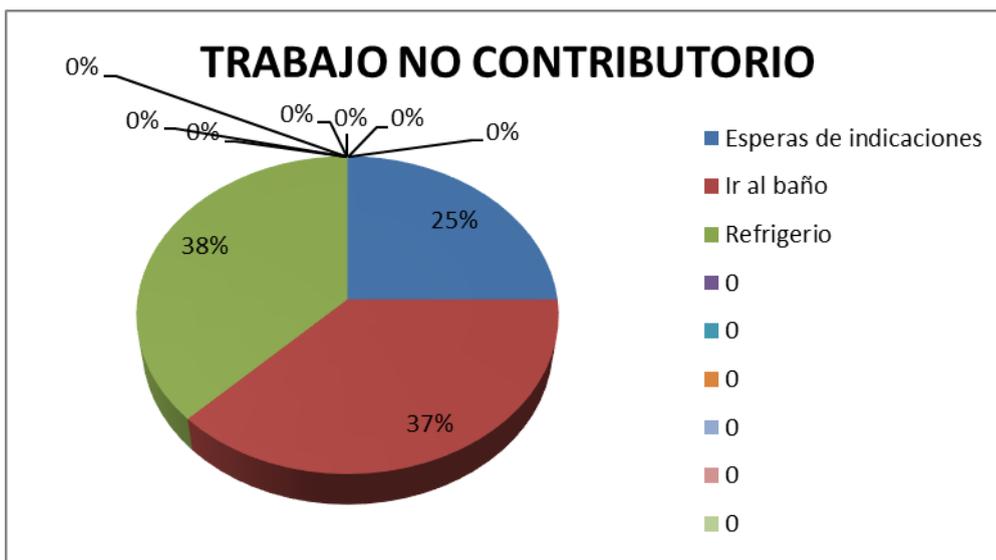


Figura 31: Nuevo Trabajo No Contributorio -Concreto 21MPA - (Fuente propia)

Donde se evidencia que el 38% del tiempo gastado se usa para tomar su refrigerio, el 37% representan el tiempo que el personal de las cuadrillas usa para ir al baño o asearse, y el 25% es a causa de las esperas por indicaciones.

Sistema del Ultimo Planificador

Lookahead

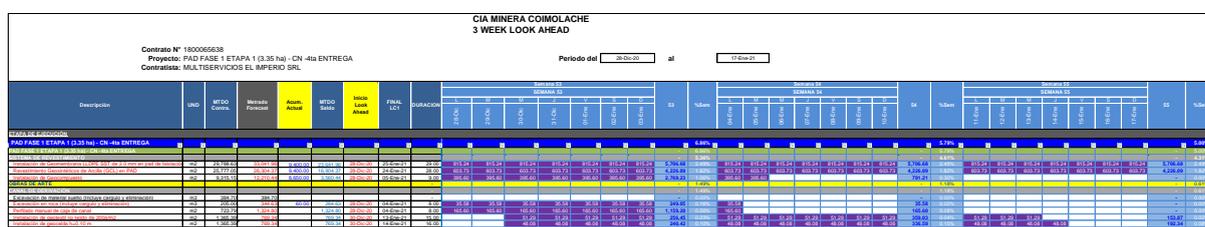


Figura 32: Nuevo Lookahead (Fuente Propia)

En la herramienta Lookahead, se planifico el trabajo que se podía ejecutar en un horizonte de 4 semanas, logrando liberar oportunamente las restricciones necesarias para cumplir con lo planificado.

SEMANAS	ACTIVIDADES PROGRAMADAS	ACTIVIDADES CUMPLIDAS	ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS	PPC	PPC ACUM
SEM 36	2	1	1	50%	50%
SEM 37	3	2	1	67%	60%
SEM 38	7	5	2	71%	67%
SEM 39	9	6	3	67%	67%
SEM 40	6	4	2	67%	67%
SEM 41	5	3	2	60%	66%
SEM 42	8	2	6	25%	58%
SEM 43	10	3	7	30%	52%
SEM 44	26	14	12	54%	53%
SEM 45	34	21	13	62%	55%
SEM 46	28	22	6	79%	60%
SEM 47	23	19	4	83%	63%
SEM 48	25	22	3	88%	67%
SEM 49	17	15	2	88%	68%
SEM 50	18	17	1	94%	71%
SEM 51	17	17	0	100%	73%
SEM 52	7	7	0	100%	73%

Figura 33: Nuevo Porcentaje de plan completado (Fuente propia)

El PPC obtenido con la aplicación de las herramientas Lean construction es de 100% en las semanas 51 y 52, evidenciándose una mejora en la productividad semana tras semana desde el inicio de la aplicación de la filosofía Lean Construction.

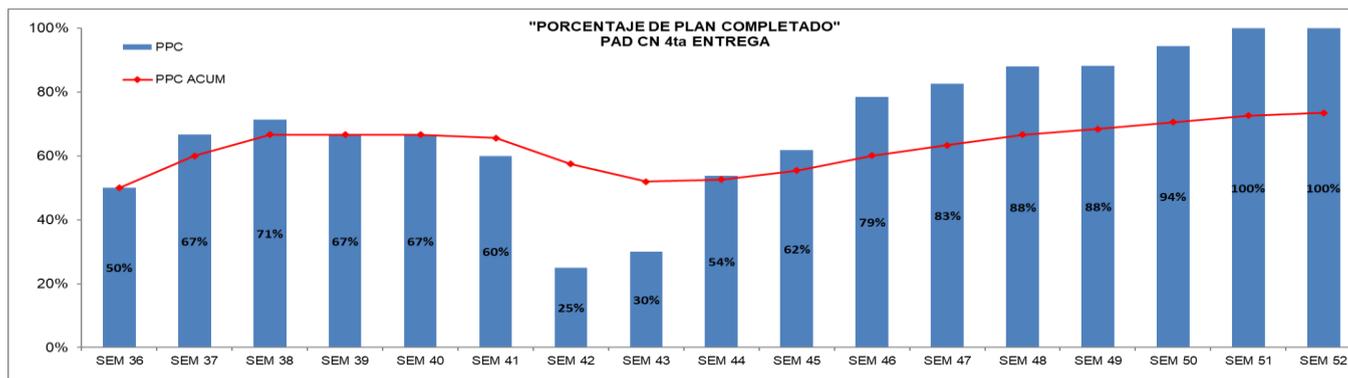


Figura 34: Nueva Curva de plan completado acumulado (Fuente Propia)

El PPC acumulado es del 73% en las semanas 51 y 52, demostrando el beneficio que ha brindado la aplicación de las herramientas Lean Construction.

SEMANA	ACTIVIDADES PROGRAMADAS	ACTIVIDADES CUMPLIDAS	ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS	PPC	% de incremento de productividad
36	2	1	1	0.50	
37	3	2	1	0.67	
38	7	5	2	0.71	
39	9	6	3	0.67	
40	6	4	2	0.67	
41	5	3	2	0.60	
42	8	2	6	0.25	
43	10	3	7	0.30	
44	26	14	12	0.54	79.49%
45	34	21	13	0.62	14.71%
46	28	22	6	0.79	27.21%
47	23	19	4	0.83	5.14%
48	25	22	3	0.88	6.53%
49	17	15	2	0.88	0.27%
50	18	17	1	0.94	7.04%
51	17	17	0	1.00	5.88%
52	7	7	0	1.00	0.00%
Promedio de incremento de productividad en 9 semanas					16.25%

Figura 35: Promedio de Incremento de Productividad Semanal

Como dato adicional tenemos que el porcentaje promedio de incremento de la productividad semana a semana es de 16.25% una vez aplicadas las herramientas Lean Construction.

Por lo tanto, se concluye que la aplicación de las herramientas de la filosofía Lean Construction en el desarrollo del proyecto genera un considerable incremento en la productividad y una evidente mejora en los procesos.

IV. DISCUSIÓN.

Al iniciar la implementación de las herramientas LC se encontró cierta resistencia a la nueva filosofía por parte del equipo de dirección y ejecución del proyecto, la misma que se logró superar al exponer el estado del proyecto y los beneficios de la aplicación de herramientas Lean en otros proyectos.

Con el equipo de proyecto, se identificó las restricciones de mayor importancia que generan el atraso del proyecto, separándolos en 2 grupos de prioridad para gestionarlas.

Prioridad 1:

1. Falta de reuniones de coordinación operativa colaborativa.
2. Falta de verificación a detalle de la Ingeniería del diseño del componente minero y los cambios realizados por el Cliente.
3. Falta de coordinación con el contratista a cargo de la voladura.
4. Falta de verificación de las cuadrillas y recursos necesarios.
5. Falta de verificación del flujo de los trabajos.
6. Falta de generación de condiciones operativas en campo.
7. Falta de planteamientos o alternativas de solución operativa.
8. Falta de coordinación oportuna con el auditor QA y el Cliente.

Prioridad 2:

1. Falta de suministros adecuados y oportunos, acorde con los cambios en el proyecto y restricciones identificadas.
2. Falta de participación del plan de prioridades del cliente.

3. Falta de análisis para realización de actividades complementarias que podrían liberar recursos a futuro.

Con las restricciones de prioridad 1 se aplicó lo siguiente:

1. Se implementa reuniones de coordinación colaborativa diarias, con la participación de las personas de todas las áreas del proyecto, sobre todo con las que ejecutaran el trabajo directamente (capataces, supervisores, líderes de grupos), donde se complementa el plan generado por la oficina técnica y se asigna responsabilidades para la liberación oportuna de las restricciones identificadas según el nuevo Lookahead con horizonte de 4 semanas, y de este modo mantener el flujo continuo en el trabajo.
2. El cliente realizó algunos cambios muy significativos para la construcción del componente y los notificó de manera formal, sin embargo, no fueron valorados adecuadamente. La eliminación de una banqueteta intermedia en un talud de 100 metros de longitud con una inclinación de 0.50:1.00 genera la falta de apoyo para que los equipos de movimiento de tierras – corte y acarreo, y con esto el retraso por falta de constructabilidad y de la oportuna revisión de los documentos del proyecto. Además de la modificación de la huella del límite de desbroce y corte, incluyendo algunas banquetetas del diseño.
3. Se generó reuniones diarias con el contratista encargado de realizar las voladuras, para que de manera colaborativa se liberen las restricciones oportunamente, o en caso contrario modificar el plan de ejecución, para mantener el flujo del trabajo y la eficiencia de los procesos.

4. Se identifico que, debido a algunos cambios por prioridades y la dificultad por la pandemia para movilizar los recursos a obra, en algún momento las cuadrillas quedaban desbalanceadas, se alinee con la programación semanal Lookahead con horizonte a 4 semanas
5. Se realizo el monitoreo del porcentaje de tiempo empleado entre trabajo productivo, trabajo Contributorio y trabajo no Contributorio, además de la identificación de las restricciones que cortaban el flujo, las mismas que son parte de esta lista.
6. Se implemento nuevas zonas de carguío de los materiales para evitar el empuje y voleado o remanejo excesivo del material volado o cortado. También se implementaron nuevos horarios para el replanteo topográfico.
7. Todas estas mejoras se implementaron en las reuniones mencionadas en el punto 1, donde, además se logró implementar una cuadrilla exclusiva para la habilitación de depósitos con horarios específicos, además se dio condiciones para la colocación de suelo de baja permeabilidad en paralelo al corte de los materiales. También se implementó una segunda cuadrilla de refine de la superficie.
8. Se implemento reuniones colaborativas con el auditor QA y el Cliente para anticipar la liberación de restricciones, viendo al proyecto y las prioridades operativas del cliente como un proyecto macro, además de establecer procedimientos para el acompañamiento y la ágil verificación por parte de QA. Haciendo que los planteamientos o soluciones de ingeniería sean mas eficientes al elevarlas a RFIs o FCRs, evitando NCRs, también se alinean criterios para realizar un trabajo Seguro dada la criticidad y topografía del terreno.

Con las restricciones de prioridad 2 se aplicó lo siguiente:

1. Se realiza los requerimientos de manera oportuna y específica de acuerdo a los cambios en el proyecto, por ejemplo, nuevos equipos y materiales topográficos, además de nuevo epp de rapell para los trabajos en el nuevo talud de 100mts de largo, También genera un balance de materiales con el que se solicita al cliente que los materiales suministrados por su parte lleguen oportunamente, como el geoweb, estacas de acero, geocompuesto.
2. Se solicita al cliente que se le permita al constructor participar de las reuniones operativas de prioridades de la unidad minera, donde se expone los riesgos de modificar el plan semanal de construcción para redirigir los recursos a las necesidades operativas del cliente, con lo que se generan alternativas de solución colaborativas con la finalidad de minimizar los impactos en el plan de construcción sin perjudicar el cumplimiento del alcance del contrato.

Se identifica de manera colaborativa, alternativas de solución para la ejecución en paralelo de actividades complementarias como, el retiro de la geomembrana temporal – rain coat y la implementación de una cuadrilla adicional de geosintéticos, también el inicio de la partida de concreto de 21mpa en las zonas de mayor espacio

V. CONCLUSIONES

- Se logró aplicar herramientas de planificación y control de la filosofía Lean Construction de manera exitosa, obteniendo resultados considerables de incremento de la productividad. Encontramos que el trabajo realmente productivo del tiempo empleado en movimiento de tierras alcanza solo un 42%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un excesivo 36%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, representa un gran 22%. Mientras que el trabajo realmente productivo del tiempo empleado en concreto alcanza solo un 47%, mientras que las actividades realizadas como trabajo Contributorio representa un excesivo 39%, y el trabajo no Contributorio o que no genera valor alguno, representa el 14%.
- Se logró dar a conocer la filosofía Lean Construction y los beneficios de sus herramientas de planificación y control, Nivel de Actividad General y Sistema del Ultimo Planificador, Porcentaje de Plan Cumplido y Causas de No Cumplimiento para los proyectos de construcción similares
- Se logró optimizar tiempo y recursos gastados en el proyecto y se evidencia a través de la aplicación de herramientas Lean Construction que el mayor impacto al cumplimiento de lo planificado obedece a la programación del cliente con 28%, los cambios en la ingeniería de detalle significan un 17%, la falta de mano de obra del contratista representa un 17 % y otro 17% se les atribuye a los efectos por el Covid-19, Otras cnc por parte del cliente representa un 10%, las prioridades del cliente representan 7%, y el factor climático un 4%.

- Con la herramienta Lookahead, se demostró que la planificación en el trabajo se podía ejecutar en un horizonte de 4 semanas, logrando liberar oportunamente las restricciones necesarias para cumplir con lo planificado.

VI. RECOMENDACIONES.

- Se recomendó al contratista profundizar en los beneficios que trae planificar y ejecutar los proyectos implementando la filosofía Lean Construction, utilizando la variedad de herramientas con la que cuenta que podrían personalizar su sistema de gestión de proyectos.
- Se recomendó al cliente aplicar la filosofía Lean Construction en el desarrollo de sus proyectos, desde las etapas iniciales o de concepción de los mismos, para evitar complicaciones y sobre costos al momento de la construcción, ya que la característica colaborativa de la filosofía genera participación activa y compromiso de todas las partes interesadas.
- Se recomendó a ambas partes la capacitación y especialización de un grupo de profesionales en la filosofía Lean Construction con la finalidad de implementar y aplicar adecuadamente la misma.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Abner Guzmán Tejada (2014). *Aplicación De La Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y Control De Proyectos*. Lima. Perú

Adriazola, V., & Torres, E. (2004). *Estudio de productividad obra San Ignacio Constructora DESCO S.A.* Universidad Tecnológica Metropolitana. Santiago-Chile

Alarcón, F. (1997). *Herramientas para la Reducción de Pérdidas en Proyectos de Construcción*. *Revista de Ingeniería*, (15) (1), 37-45.

Ballard, Glenn. (1994). *The Last Planner*. Lean Construction Institute. Santiago, Chile

Ballard, Glenn; Howell, Greg. (1994). *Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow*. 2da Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC). Santiago, Chile.

Ballard, Glenn & Howell, G. (1997). *Implementing Lean Construction: stabilizing work flow*. California Berkeley, USA. The Netherlands

Ballard, Glenn (2000). *The Last Planner System of production control*, (Tesis Posgrado) Facultad de Ingeniería de la Universidad de Birmingham, grado de doctor de Filosofía.

Castillo, Inés R. (2014). *Inventario de Herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos lean*. Pontificia Universidad Católica del Perú. (Tesis). Lima, Perú.

Chávez, Jhonny & De la Cruz, Christian. (2014). *Aplicación de La Filosofía Lean Construction en una Obra de Edificación (Caso: Condominio Casa Club Recrea – El Agustino)*. (Tesis). Lima, Perú.

Martínez, Jhonatan. (2011). *Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción*. (Tesis). Bogotá, Colombia.

Meza, Franklin. (2017). *Propuesta de Aplicación de la Filosofía Lean Construction en un Proyecto de Edificación de Albañilería Confinada para Reducir Costos de Ejecución*. (Tesis). Trujillo, Perú.

Nievel B. (2001). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estánderes y Diseño del Trabajo*. Alfaomega México.

ALARCÓN, L. (2009). *Un Nuevo Enfoque en la Gestión: La Construcción Sin Pérdidas*. Revista de Obras Públicas, 3.496, 45-52.

Allmon, Eric. (1998). *Construction Labor Productivity Trends*. Journal of Construction. Estados Unidos.

Orihuela, Pablo & Ulloa; Karem. (2011). *La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner*. Construcción Integral, Boletín N°12.

Serpell, A., y Alarcón, L. (1994). *Planificación y Control de Proyectos*. 1ra ed., Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago.

ANEXOS.

Anexo 1: Formato de registro del Nivel de Actividad General

	Proyecto	
	actividad	

	TIPO DE DESPILFARRO	DESCRIPCION
Trabajo Productivo		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
Trabajo Contributorio		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Trabajo No Contributorio		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

- Reuniones colaborativas de campo



- Ejecucion de actividades en paralelo (colocación de SBP y retiro de Rain Coat)



- Avance recuperado con las herramientas Lean Construction Semana 51

