



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

## ESCUELA DE POSGRADO

Sistema de gestión de proyectos de Construcción basado en la filosofía Lean y en el PMBOK para mejorar su productividad.

Tesis para optar el grado **MAESTRO** en:  
**Administración de Empresas**

**Autor:**

Marcos Joel Matos López

**Asesor:**

Oscar Hugo Silva Rojas

Lima – Perú

2018

## DEDICATORIA

A mi hijo Marcos Joaquín

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos quienes han contribuido para que la presente tesis fuese posible, en particular a mi asesor y a esta querida Universidad. Gracias a mi familia por todo el respaldo emocional. Gracias a Dios por permitirme buscar ser mejor cada día.

## RESUMEN

En la presente tesis se analizó y diseñó un sistema de gestión de proyectos de construcción para mejorar su productividad. La productividad tiene 3 dimensiones: la relación entre la cantidad de productos obtenida (que cumplan las especificaciones), y la cantidad de recursos utilizada que puede ser expresada en costos; así como la relación de la cantidad de productos obtenida (que cumplan las especificaciones), y el tiempo utilizado. En esta línea, no se puede hablar de mejora de productividad si no se mejora el cumplimiento del alcance, de los costos y del tiempo, los cuales dependen a su vez de una mejora sustancial de los recursos humanos, del manejo de las adquisiciones y de la gestión de la información, los cuales son los objetivos específicos de la presente tesis. Por tanto, la metodología seleccionada para monitorear estas 3 dimensiones (alcance, costos y tiempo) es el valor ganado, debido a que las relaciona y permite controlarlas juntas.

Los resultados de la presente tesis son producto de la aplicación conjunta del estándar Instituto de Gerencia de Proyectos (Project Management Institute), la filosofía del Lean (que considera que todo lo que nos aleja de las especificaciones, eleva los costos o aumenta el tiempo son desperdicios); las metodologías (valor ganado, Kaizen, Last Planner, los 5 por qué o el diagrama causa-efecto para identificar las causas de incumplimiento y el formato A3 que permitirá tomar acción para contrarrestar éstas); y las mejores prácticas obtenidas de la experiencia: todo ello permite obtener un sistema de gestión de proyectos de construcción que aumenta la productividad.

Este sistema fue puesto a prueba en un proyecto de Líneas de Transmisión con resultados exitosos, llegando a tener índices de desempeño de cronograma y costos superiores a 1, abordando las fuentes de causas de incumplimiento y de pérdidas, y por ello ha sido generalizado a otros proyectos de construcción, siempre partiendo de la premisa que en cada proyecto se debe mejorar el sistema a partir de las lecciones aprendidas obtenidas al final.

## ABSTRACT

This thesis analyzed and designed a construction project management system to improve its productivity. Productivity has 3 dimensions: the ratio between the quantity of products obtained (which meet the specifications), and the amount of resources used that can be expressed in costs; as well as the ratio of the quantity of products obtained (which meet the specifications); and the time used. In this line, it is not possible to speak of productivity improvement if compliance with scope, costs and time is not improved, which in turn depends on a substantial improvement in human resources, procurement management and the management of information, which are the specific objectives of this thesis. Therefore, the methodology chosen to monitor these 3 dimensions (scope, costs and time) is the Earned Value, because it relates them and allows them to be controlled together.

The results of this thesis are a product of the joint application of the Project Management Institute standard, the philosophy of the Lean (which considers that everything that distances us from specifications, raises costs or increases the time they are waste); the methodologies (Earned Value, Kaizen, Last Planner, the 5 why or the cause-effect diagram to identify the causes of default and the A3 format that will allow action to counteract these); and the best practices obtained from the experience: all this allows to obtain a system of management of projects of construction that increases the productivity.

This system was tested in a Transmission Line project with successful results, reaching schedule and cost performance indexes above 1, addressing the sources of causes of default and losses, and has therefore been generalized to others projects, always starting from the premise that in each project the system must be improved based on the learned lessons at the end.

## ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	
RESUMEN	
ABSTRACT	
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	
TABLA DE CONTENIDOS	
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
I.1. Realidad problemática	10
I.2. Pregunta de investigación	10
I.3. Objetivos de la Investigación	11
A. Objetivo General	11
B. Objetivos Específicos	11
I.4. Justificación de la investigación	11
I.5. Alcance de la investigación	11
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>13</b>
I.1. Antecedentes	13
I.2. Bases Teóricas	14
A. Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos	14
1. Grupo de Procesos	14
2. Áreas de conocimiento	15
3. Valor Ganado	19
B. Lean Construction	23
1. Definición Lean	23
2. Los cinco principios del pensamiento Lean	23
3. Técnicas y Herramientas	23
4. El kaizen	25
5. El último planificador (Last Planner System)	25
6. Los 5 Por Qué	38
7. Diagrama de Ishikawa, Causa/Efecto	38
8. Formato A3	40
I.3. Definición de términos técnicos	41
<b>III. HIPÓTESIS</b>	<b>44</b>
III.1. Declaración de hipótesis	44
III.2. Operacionalización de variables	44
III.3. Propuesta de solución	45
A. Selección de las Partida Críticas	45
B. Sistema de Gestión	51
1. Inicio	51
2. Planificación	53
3. Ejecución	74
4. Monitoreo	77
5. Controlar	85
6. Cierre	112

IV.DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS .....	115
V.RESULTADOS.....	117
VI.DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	121
VI.1. Conclusiones .....	121
VI.2. Recomendaciones .....	122
Lista de referencias .....	123

### ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.....	28
Producción Convencional y Producción Lean (L. Alarcón, 2008)	
Tabla 2.....	59
Definición de las Actividades	
Tabla 3.....	62
Estimación de Recursos de Mano de Obra	
Tabla 4.....	63
Estimación de Duración de Actividades	
Tabla 5.....	65
Cronograma de la Línea de Transmisión en Excel	
Tabla 6.....	66
Cronograma de la Línea de Transmisión en Primavera P6	
Tabla 7.....	70
Estimación de Costos de la Mano de Obra	
Tabla 8.....	71
Estimación de Costos de Equipos y Herramientas	
Tabla 9.....	79
Ratios Reales y Ratios Meta semanales	
Tabla 10.....	82
Valor Planificado hasta el mes 2	
Tabla 11.....	82
Avance porcentual hasta el mes 2	
Tabla 12.....	82
Valor Ganado hasta el mes 2	
Tabla 13.....	83
Costo Real hasta el mes 2	
Tabla 14.....	83
Índices de Desempeño	
Tabla 15.....	88

Carta Balance del Montaje de Torres

Tabla 16 .....	89
Distribución Porcentual del Montaje de Torres	
Tabla 17 .....	91
Valor de Distribución Normal Estandarizada	
Tabla 18 .....	92
Resultados Herramienta Nivel General de Actividad	
Tabla 19 .....	96
Detalle del Trabajo contributorio y no contributorio del nivel general de actividad	
Tabla 20 .....	98
Formato A3 para el Conocimiento del Alcance	
Tabla 21 .....	99
Matriz de Causas de Incumplimiento para la Línea de Transmisión	
Tabla 22 .....	102
Programación a Mediano Plazo de la Línea de Transmisión	
Tabla 23 .....	103
Cuadro para el levantamiento de Restricciones	
Tabla 24 .....	105
Formato A3 de la brecha de Mano de Obra	
Tabla 25 .....	107
Formato A3 de la Brecha de Equipos	
Tabla 26 .....	108
Formato A3 de la Brecha de Materiales	
Tabla 27 .....	110
Formato A3 de la Brecha de Subcontratos	
Tabla 28 .....	111
Formato A3 de la Brecha de Gastos Generales	
Tabla 29 .....	112
Check List	
Tabla 30 .....	116
Resultados SPI	
Tabla 31 .....	116
Resultados última semana del PPC	
Tabla 32 .....	117
Resultados CPI	
Tabla 33 .....	118
Resultados PF últimas semanas	



Figura 1. Correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento (Project Management Institute, 2013) .....	18
Figura 2. Valor Ganado, Valor Planificado y Costos Reales (Project Management Institute, 2013) .....	22
Figura 3. Sistema Tradicional Push (Empuje) (Ballard G. , The Last Planner System of Production Control, 2000) .....	29
Figura 4. Las Planner System (Ballard G. , The Last Planner System of Production Control, 2000). .....	30
Figura 5. Revisión de actividades antes del Lookahead. (Ballard G. , The Last Planner System of Production Control, 2000).....	33
Figura 6. Porcentaje Programa Cumplido (Ballard G. , The Last Planner System of Production Control, 2000) .....	35
Figura 7. Partida Crítica Pre-ensamblaje de torres. ....	46
Figura 8. Partida Crítica Montaje de Torres .....	47
Figura 9.Partida Crítica Instalación de aisladores y poleas .....	48
Figura 10.Partida Crítica Instalación de cordina. ....	48
Figura 11.Partida Crítica Tendido de conductor .....	49
Figura 12.Partida Crítica Nivelado y grapado de conductor .....	50
Figura 13.Sistema de Gestión basado en Lean y PMI. ....	51
Figura 14.Proceso de Inicio .....	51
Figura 15. Esquema de Planificación.....	54
Figura 16. Esquema de Planificación del Alcance. ....	55
Figura 17.Esquema de Gestión del Tiempo del Proyecto .....	58
Figura 18. Secuencia de actividades parte 1 de 3. ....	60
Figura 19.Secuencia de Actividades parte 2 de 3.....	60
Figura 20.Secuencia de Actividades parte 3 de 3.....	61
Figura 21.Método de la cadena crítica tomado del PMI.....	64
Figura 22.Proceso de Planificación de Costos .....	67
Figura 23. Proceso de Gestión del Equipo Humano del Proyecto.....	75
Figura 24. Esquema de Monitoreo y Control de Proyectos .....	77
Figura 25. Gráfico del Valor Ganado .....	83
Figura 26. Distribución del Trabajo .....	89
Figura 27. Distribución del Trabajo Contributorio .....	97
Figura 28. Distribución del Trabajo No Contributorio.....	97
Figura 29. La Importancia de la Programación.....	101
Figura 30. Diagrama Causa Efecto de la Brecha de Mano de Obra. ....	105
Figura 31. Diagrama de Ishikawa de la brecha de Equipos.....	106
Figura 32.Diagrama de Ishikawa de la Brecha de Materiales. ....	108
Figura 33. Diagrama de Ishikawa de la brecha de subcontratos. ....	109
Figura 34. Diagrama de Ishikawa de la brecha de gastos generales.....	111
Figura 33. Diagrama de las causas de incumplimiento de la última semana.....	117
Figura 36. Gráfica de Valor Ganado de la Línea de Transmisión.....	117
Figura 37.Trabajo productivo, contributorio y no contributorio .....	118

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Realidad Problemática

La productividad constituye una de las variables fundamentales que determinan en el largo plazo el crecimiento y/o desarrollo económico de un país (Krugman, 1997). En el caso de la economía peruana, ésta registró un crecimiento económico de 3.2% entre 1980 y 2014, contribuyendo la productividad con el 2.9%; la cual debería crecer a una tasa de 3.2% en los próximos 20 años para alcanzar un PBI per cápita similar al promedio de las economías desarrolladas (30,000 dólares en paridad de poder de compra), nivel muy por encima de las tasas históricas de crecimiento de productividad (0.7% en el período 1951-2014) que el Perú ha tenido (Céspedes, Lavado, & Ramírez, 2016), por lo que a nivel de país se está muy lejos del óptimo.

En el caso específico de la construcción debido a la desaceleración del sector construcción (en el 2015 se dio una disminución de 5.8%, en el 2016, 3.1%, en el primer trimestre del 2017, 5.3 y en el segundo trimestre, 2.9% (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], II trimestre 2017), la reducción de costos y la maximización de resultados se han convertido en exigencias cruciales para las empresas que operan en este mercado. Para ello se busca el aumento de la productividad que está por debajo del promedio de productividad en otros sectores de la economía (Céspedes, Lavado, & Ramírez, 2016).

Se ha intentado resolver este problema de varias formas, pero la mayoría de veces se ha resuelto solo una parte del problema, por lo que las empresas constructoras peruanas aún no alcanzan el nivel de productividad de empresas europeas o norteamericanas, por lo que los costos y duraciones planificados no se cumplen.

### I.2. Pregunta de Investigación

¿Cómo diseñar un sistema de gestión de proyectos de construcción basado en la filosofía Lean y en el PMBOK para mejorar su productividad?

### **I.3. Objetivos de la investigación**

#### **A. Objetivo General**

Diseñar un sistema de control de gestión de proyectos de construcción basado en la filosofía Lean y el PMBOK para mejorar su productividad capital.

#### **B. Objetivos Específicos**

- Medir el nivel de cumplimiento del alcance del proyecto
- Medir el nivel de cumplimiento del plazo del proyecto.
- Identificar el camino del valor (value stream) con el fin de eliminar el desperdicio que surja.

### **I.4. Justificación de la investigación**

Para hacer que la productividad del sector construcción mejore, y con ello se cumplan los tiempos y costos planificados de los proyectos, se tienen hoy en día distintos estándares, metodologías y herramientas. Ante ello, la presente investigación que selecciona la metodología Lean pretende seleccionar las técnicas y herramientas más adecuadas teóricamente en cada etapa del proyecto. Sin dejar de lado las buenas prácticas propias de cada empresa y que son el resultado de su experiencia.

En forma práctica la investigación busca integrar estos estándares, metodologías y herramientas en un sistema de gestión que pueda ser aplicado a un proyecto modelo, mejorando la productividad de este, y luego generalizándolo.

### **I.5. Alcance de la investigación**

La investigación utiliza los estándares (buenas prácticas) del Instituto de Gerencia de Proyectos (Project Management Institute) y la metodología Lean, con algunas de sus herramientas para mejorar la productividad en los proyectos de construcción. Esta investigación no considera la metodología 6 sigma, la cual se deja para una investigación futura con el fin de mejorar aún más la calidad de los proyectos.

A manera de ejemplo la investigación se centra en un proyecto de líneas de transmisión, el cuál es muy didáctico. Ya que es un proyecto que se encontraba paralizado por muchos problemas: no se tenía una buena ingeniería, estaba fuera de plazo, con costos

elevados, no tenía la calidad esperada, no tenía los recursos humanos adecuados, el suministro estaba retrasado y en algunas zonas la comunidad no estaba de acuerdo con el proyecto. Al aplicar el siguiente sistema de gestión, el proyecto terminó siendo exitoso en términos de plazo y costos.

Este sistema de control de gestión mejora considerablemente la productividad y puede ser generalizado a cualquier tipo de proyecto de construcción: edificaciones, obras civiles y obras electromecánicas, aunque se reconoce que siendo los proyectos de construcción muy variables, su aplicación es más compleja en algunos proyectos que en otros, y las mejoras de productividad no serán las mismas.

## II. MARCO TEÓRICO

### II.1. Antecedentes

La primera aplicación de Lean a la construcción la realizó Koskela, en 1992 en su artículo “Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción” (en inglés: Application of the new production philosophy to construction). No se hace mención al término Lean pero ya se habla de cómo se pueden aprovechar las herramientas de esta nueva filosofía en la construcción.

Ballard desarrolla la herramienta Last Planner, una de las más potentes en la filosofía Lean, en su tesis doctoral en la Universidad de Birmingham y concluye que su aplicación mantiene el porcentaje de plan cumplido (PPC) sobre el 90%. (Ballard, 2000).

No toda la academia estuvo de acuerdo con las propuestas de Koskela y Ballard ya que consideraban que era casi imposible aplicarlos a la construcción por ser un sector muy variable.

Johansen y Walter concluyen que la principal barrera para aplicar Lean en el sector construcción de Alemania no es la variabilidad de los proyectos, sino mentalidad de que los principios del Lean son solo para el sector industrial (2007). Asimismo, Senaratne y Wijesiri (2008) concluyen que la aplicación de Lean Construction (Lean adaptado a la construcción) puede ser adaptado a cualquier país y a cualquier realidad económica poniendo el ejemplo de Sri Lanka, donde se tenía muy bajos niveles de productividad, deficiente calidad, sobretiempos y mínima seguridad.

En Sudamérica, Alarcón, Diethelm, Rojo y Calderón (2008) analizaron el impacto de implementar Lean en la industria de la construcción en Chile, midiendo la disminución de las actividades no contributivas.

Court, Pasquire y Gibb (2009) concluyeron que la aplicación de los principios Lean en un proyecto aumento la productividad en 16% mediante la aplicación de la metodología Last Planner.

Leal aplica en sus tesis de maestría la metodología Last Planner a cuatro proyectos de montaje industrial en minería, midiendo el impacto positivo en la seguridad, plazos, margen de utilidad, productividad, eficiencia de la mano de obra y satisfacción del cliente (Leal, 2010). A pesar de estas conclusiones, Lean aplicado a la construcción aún tenía muchas críticas por ser una idea relativamente nueva.

Ballard y Koskela (2011) replican las críticas de Graham Winch a la filosofía Lean aplicada a la construcción, por considerarla una filosofía aplicable solo a procesos repetitivos.

González (2012) mide el impacto positivo de la metodología Last Planner en la productividad de proyectos de edificaciones, concluyendo que tiene que haber compromiso de los decisores finales, coordinación de los últimos planificadores mediante reuniones periódicas, utilización de un indicador básico de control denominado Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y visibilidad pública de los resultados semanales obtenidos. Desde ahí la metodología ha sido usada más en proyectos de edificaciones.

## II.2. Bases Teóricas

### A. Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)

La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos es un conjunto de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas, conocidas como buenas prácticas, que pueden aumentar las posibilidades de éxito de un proyecto. Esta guía se divide en procesos y en áreas de conocimiento las cuáles detallamos a continuación:

#### 1. Grupos de Procesos

Los 5 grupos en los que la Guía PMBOK clasifica los procesos son:

**1.1. Inicio:** “El Grupo de Procesos de Inicio está compuesto por aquellos procesos realizados para definir un nuevo proyecto o una nueva fase del proyecto existente al obtener la autorización para iniciar el proyecto o fase” (Project Management Institute, 2013).

Un proyecto es un esfuerzo temporal, por lo que tiene un inicio en el cual se tiene que definir la visión del proyecto y conformar el equipo. Acá se debe contestar la pregunta ¿Cuál es la razón y cuál es el objetivo final del proyecto?

**1.2. Planificación:** “El Grupo de Procesos de Planificación está compuesto por aquellos procesos realizados para establecer el alcance total del esfuerzo, definir y refinar los objetivos, y desarrollar la línea de acción requerida para alcanzar dichos objetivos” (Project Management Institute, 2013).

Así como en la planificación del círculo de Deming, acá se define los objetivos y el camino para alcanzarlos.

**1.3. Ejecución:** “El Grupo de Procesos de Ejecución está compuesta por aquellos procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto a fin de cumplir las especificaciones del mismo” (Project Management Institute, 2013).

Al igual que en el círculo de Deming, el segundo paso es hacer o ejecutar, es llevar el plan a la realidad.

**1.4. Monitoreo y control:** “El Grupo de Procesos de Monitoreo y Control está compuesto por aquellos procesos requeridos para rastrear, analizar y dirigir el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes” (Project Management Institute, 2013).

Al igual que en el círculo de Deming el tercer paso es controlar, para ello hay que monitorear constantemente, pero no tiene sentido controlar sino se van a implementar cambios, por lo que se regresa a la planificación de estos cambios y luego a su ejecución.

**1.5. Cierre:** “El Grupo de Procesos de Cierre está compuesto por aquellos procesos realizados para finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos de la dirección de proyectos, a fin de completar formalmente el proyecto, una fase del mismo u otras obligaciones contractuales” (Project Management Institute, 2013).

Nuevamente se llega a que un proyecto es un esfuerzo temporal, por lo que tiene un final donde se tiene que verificar que todos los procesos han concluido.

## **2. Áreas de conocimiento**

Cada una de las áreas de conocimiento comprende los procesos requeridos para lograr una efectiva gestión del proyecto. Las 10 áreas de conocimiento son las siguientes:

**2.1. Integración:** “La Gestión de la Integración del Proyecto incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de dirección del proyecto dentro de los Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si no articulamos las áreas de conocimiento? Sería un fracaso si el área de calidad trabajaría para cumplir con los requisitos del proyecto sin tomar en cuenta que se está incurriendo en mayores costos y excediendo los plazos, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

- 2.2. Alcance:** “La Gestión del Alcance del Proyecto incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo requerido y **únicamente el trabajo** para completar el proyecto con éxito” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si cuando se acaba el proyecto el cliente nos indica que eso no era lo que quería? El proyecto habría sido un fracaso, se tendría que rehacerlo, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

- 2.3. Tiempo:** “La Gestión del Tiempo del Proyecto incluye los procesos requeridos para gestionar la terminación en plazo del proyecto” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si se termina el proyecto con muchos meses de retraso? Habría sido un fracaso, el cliente habría perdido dinero ya que fueron meses que dejo de percibir una utilidad que estaba planificada y seguramente aplicaría penalidades, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

- 2.4. Costos:** “La Gestión de los Costos del Proyecto incluye los procesos relacionados con planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si el proyecto se sale de los costos? Habría sido un fracaso, quizás se paralice por falta de presupuesto o si se termina incurrirá en sobrecostos, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

- 2.5. Calidad:** “La Gestión de la Calidad del Proyecto incluye los procesos y actividades de la organización ejecutora que establecen las políticas de calidad, los objetivos y las responsabilidades de calidad para que el proyecto satisfaga las necesidades para las que fue acometido” (Project Management Institute, 2013).



¿Qué pasaría si el proyecto no cumple con los requisitos que se definieron en un inicio? Sería un fracaso, se gastaría en re trabajos y lo peor sería que ocasiona pérdidas enormes, ese es el precio de la falta de la calidad, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

**2.6. Recursos humanos:** “La Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto incluye los procesos que organizan, gestionan y conducen al equipo del proyecto” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si el proyecto no tiene los recursos humanos adecuados? Sería un fracaso, se tendría baja productividad o se paralizaría, ya que son las personas lo más importante en un proyecto, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

**2.7. Comunicaciones:** “La Gestión de las comunicaciones del Proyecto incluye los procesos requeridos para asegurar que la planificación, recopilación, creación, distribución, almacenamiento, recuperación, gestión, control, monitoreo y disposición final de la información del proyecto sean oportunos y adecuados” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si la cuadrilla no tiene la última revisión de planos del proyecto? Sería un fracaso, se tendría otro resultado y esto porque no se gestionó las comunicaciones para transmitir los cambios, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

**2.8. Riesgos:** “La Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión de riesgos, así como la identificación, análisis, planificación de respuesta y control de los riesgo de un proyecto” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si ocurre un accidente incapacitante o fatal en el proyecto? Sería un fracaso, no se está libre de algún infortunio, pero la idea es reducir la probabilidad de estos eventos negativos mediante la gestión de riesgos, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

**2.9. Adquisición:** “La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos necesarios para comprar o adquirir productos, servicios o resultados que es preciso obtener fuera del equipo de proyecto” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si los materiales no están a tiempo? Sería un fracaso, ya que se tendría al personal en standby generando mayores costos y retrasos en tiempo, acá radica la importancia de esta área del conocimiento.

AREAS DE CONOCIMIENTO	PROCESOS				
	INICIO	PLANIFICACION	EJECUCIÓN	MONITOREO Y CONTROL	CIERRE
<b>INTEGRACION</b>	Desarrollar Acta de Constitución	Desarrollar Plan para dirección	Dirigir y Gestionar el trabajo	Monitorear y Controlar el trabajo	Cerrar Proyecto o fase
				Realizar el control integrado de cambios	
		Planificar Gestión de Alcance		Validar el alcance	
<b>ALCANCE</b>		Recopilar Requisitos		Controlar el alcance	
		Definir el Alcance			
		Crear la ETD/WBS			
		Planificar Gestión del Cronograma		Controlar el Cronograma	
		Definir las actividades			
		Secuenciar las actividades			
<b>TIEMPO</b>		Estimar los recursos de las actividades			
		Estimar la duración de las actividades			
		Desarrollar el cronograma			
		Planificar la Gestión de Costos		Controlar los Costos	
<b>COSTOS</b>		Estimar los Costos			
		Determinar el presupuesto			
<b>CALIDAD</b>		Planificar la Gestión de la Calidad	Realizar Aseguramiento de la Calidad	Controlar la calidad	
		Planificar la Gestión de los RRHH	Adquirir el equipo del proyecto		
<b>RECURSOS HUMANOS</b>			Desarrollar el equipo del proyecto		
			Dirigir el equipo del proyecto		
<b>COMUNICACIONES</b>		Planificar la Gestión de las Comunicaciones	Gestionar las comunicaciones	Controlar las comunicaciones	
		Planificar la Gestión de los Riesgos		Controlar los Riesgos	
		Identificar los riesgos			
<b>RIESGOS</b>		Realizar el análisis cualitativo de riesgos			
		Realizar el análisis cuantitativo de riesgos			
		Planificar la respuesta a los riesgos			
<b>ADQUISICIONES</b>		Planificar Gestión de las Adquisiciones	Efectuar las Adquisiciones	Controlar las adquisiciones	Cerrar las adquisiciones
<b>INTERESADOS</b>	Identificar a los interesados	Planificar Gestión de los interesados	Gestionar Participación de los interesados	Controlar la participación de los interesados	

Figura 1. Correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento (Project Management Institute, 2013)

**2.10. Interesados:** “La Gestión de los Interesados del Proyecto incluye los procesos necesarios para identificar a las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por el proyecto, para analizar las expectativas de los interesados y su impacto en el proyecto, y para desarrollar estrategias de gestión

adecuadas a fin de lograr la participación eficaz de los interesados en las decisiones y en la ejecución del proyecto” (Project Management Institute, 2013).

¿Qué pasaría si la comunidad paraliza el proyecto? Sería un fracaso, muchas veces se comete el error de pensar que solo el cliente, la empresa y los trabajadores son los interesados del proyecto, hay muchos más interesados que si no los gestionamos adecuadamente pueden ocasionarnos retrasos e incluso la paralización del proyecto, acá radica la importancia de esta área del conocimiento. Todas estas relaciones entre las áreas del conocimiento y los grupos de procesos se pueden observar en la figura1 de la página anterior.

### 3. Valor Ganado

“La gestión del valor ganado (EVM) es una metodología que combina medidas de alcance, cronograma y recursos para evaluar el desempeño y avance del proyecto” (Project Management Institute, 2013).

Es una metodología que integra la línea base del alcance con la línea base de costos, junto con la línea base del cronograma, para generar la línea base para la medición del desempeño. Tiene los siguientes elementos:

**3.1. Presupuesto hasta la conclusión (BAC):** Es el valor del presupuesto meta.

**3.2. Valor Planificado (PV):** Presupuesto autorizado que se ha asignado al trabajo programado.

¿Qué tanto trabajo se planificó?

Ejemplo: un proyecto cuyo BAC es mil de dólares que se ejecutará en 4 meses.

Al terminar el tercer mes se planificó ejecutar el 75%.

$$PV = 1,000 * 75\%$$

$$PV = 750$$

**3.3. Valor Ganado (EV):** Medida de trabajo realizado en términos de presupuesto autorizado para dicho trabajo.

¿Qué tanto trabajo actualmente se ha completado?

Si sólo se ha ejecutado el 50%.

$$EV = 1,000 * 50\%$$

$$EV = 500$$

- 3.4. Costo Real (AC):** Costo incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un período de tiempo específico.

¿Qué tanto a costado completar el trabajo actual?

$$AC = 900$$

- 3.5. Variación del cronograma (SV):** Medida del desempeño del cronograma que se expresa como la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado.

$$SV = EV - PV$$

$$SV = 500 - 750$$

$$SV = -250$$

Al ser negativo quiere decir que el proyecto está atrasado.

- 3.6. Variación del costo (CV):** Monto del déficit o superávit presupuestario en un momento dado, expresado como la diferencia entre el valor ganado y el costo real.

$$CV = EV - AC$$

$$CV = 500 - 900$$

$$CV = -400$$

Al ser negativo quiere decir que el proyecto está gastando más.

- 3.7. Índice del desempeño del cronograma (SPI):** Medida de la eficiencia del cronograma que se expresa como la razón entre el valor ganado y el valor planificado.

$$SPI = EV/PV$$

$$SPI = 500/750$$

$$SPI = 0.67$$

Si el SPI es menor que 1, el proyecto está atrasado.

- 3.8. Índice del desempeño del costo (CPI):** Medida de la eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real.

$$CPI = EV/AC$$

$$CPI = 500/900$$

$$CPI = 0.55$$

Si el CPI es menor que 1, el proyecto está gastando más

**3.9. Estimación a la Conclusión (EAC):** El costo total previsto de completar todo el trabajo, expresado como la suma del costo real a la fecha y la estimación hasta la conclusión.

Si se espera que el SPI sea el mismo para el resto del proyecto:

$$EAC = BAC/CPI$$

$$EAC = 1,000/0.55$$

$$EAC = 1,800$$

Si el trabajo futuro se va realizar con la tasa planificada:

$$EAC = AC + BAC - EV$$

$$EAC = 900 + 1,000 - 500$$

$$EAC = 1,400$$

**3.10. Variación a la conclusión (VAC):** Proyección del monto de déficit o superávit presupuestado al concluir el proyecto.

En caso el proyecto siga igual:

$$VAC = BAC - EAC$$

$$VAC = 1,000 - 1,800$$

$$VAC = -800$$

En caso el proyecto vuelva a la tasa planificada:

$$VAC = BAC - EAC$$

$$VAC = 1,000 - 1,400$$

$$VAC = -400$$

En ambos casos el proyecto perderá.

**3.11. Índice del desempeño del trabajo por completar (TCPI):** Medida del desempeño de costo que se debe alcanzar con los recursos restantes a fin de cumplir con el objetivo.

**Podría ser para mantener el plan:**

$$TCPI = (BAC - EV)/(BAC - AC)$$

$$TCPI = (1,000 - 500)/(1,000 - 900)$$

$$TCPI = 5$$

O para no variar el EAC de la tasa planificada:

$$TCPI = (BAC - EV)/(EAC - AC)$$

$$TCPI = (1,000 - 500)/(1,400 - 900)$$

$$TCPI = 1$$

A continuación, se muestran todos los elementos en la siguiente Figura.

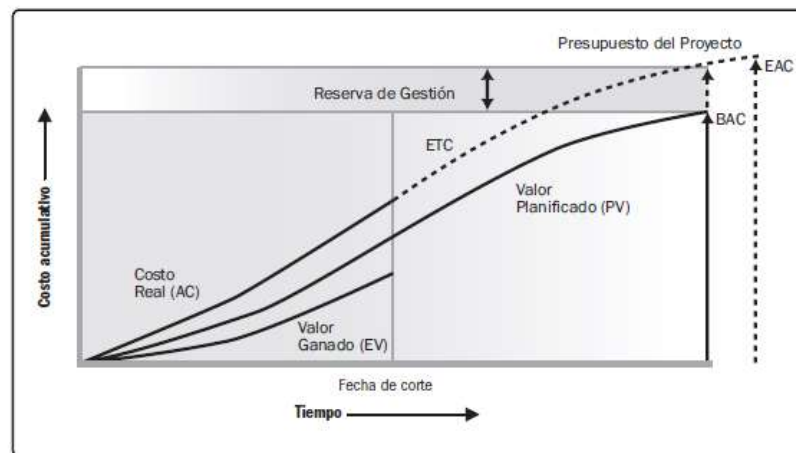


Figura 2. Valor Ganado, Valor Planificado y Costos Reales (Project Management Institute, 2013)

## B. Lean Construction

### 1. Definición Lean

Womack y Jones describen el pensamiento Lean como la búsqueda de la mejora continua como antídoto contra el desperdicio; se trata de una propuesta sistemática para la búsqueda de las actividades que agreguen valor al producto mediante la eliminación del desperdicio en todos los procesos de la organización (Womack, 2002).

Actualmente el Instituto de Estándares y Tecnología de Reino Unido (NIST por sus siglas en inglés) lo define como: “Una aproximación sistemática para identificar y eliminar el desperdicio a través de la mejora continua, en donde el producto fluye desde el cliente hasta su producción (pull system), siempre en busca de la mejora continua (Kaizen)”

## 2. Los cinco principios del pensamiento Lean

Womack identifica 5 principios rectores claves para aplicar el pensamiento Lean:

- a) Especificar el valor desde el punto de vista del cliente.  
Todo esfuerzo utilizado en algo que no genera valor para el cliente es un desperdicio.
- b) Identificar el camino del valor (value stream) con el fin de eliminar el desperdicio que surja. Basado en conocer que actividades generan valor para el cliente se puede identificar el camino del valor.
- c) Hacer que el proyecto fluya continuamente agregando valor. El proyecto no puede detenerse porque deja de generar valor.
- d) Introducir el Pull System (tirar) en el proceso, que es lo contrario al Push System (empujar), donde las actividades predecesoras jalan a las iniciales.
- e) Tender hacia la mejora continua y gestionarla.

## 3. Técnicas y Herramientas

Para implementar las organizaciones con los principios del pensamiento Lean, varios autores han sugerido la aplicación combinada de ciertas técnicas:

- a) Kanban. Sistema de señalamiento de la producción y el flujo de materiales mediante el uso de tarjetas.
- b) Kairyo o Kaikaku. (rediseño de procesos). Realización de mejoras o innovaciones a grandes pasos (radicales) en los procesos de trabajo para eliminar el desperdicio.
- c) Mantenimiento productivo total (TPM). Mecanismo necesario para mantener la confiabilidad de las máquinas y los equipos del sitio de trabajo. ¿Qué pasaría si un equipo tan importante como una grúa se malogra? Se paralizan las actividades de montaje, pero porque sucede, podría ser por la idea generalizada de los operadores: “yo opero, tu reparas”, mediante el TPM esto se cambia al “yo soy responsable de mi equipo”.

- d) Eliminación del desperdicio, Taiichi Ohno clasificó el desperdicio en siete tipos principales: de sobreproducción, de inventario, de productos defectuosos, de movimiento, de procesamiento, de espera, y de transporte.
- e) Heijunka o nivelación de los recursos con el fin de adaptar las fluctuaciones de la demanda a la capacidad existente. Ejemplo: Cuando se hace el histograma de personal se busca asemejarse a una campana de Gauss limitando la máxima cantidad de personal.
- f) Cambio rápido de moldes y utillaje (Single Minute Exchange of Dies SMED). Mecanismos necesarios para reducir el lead time (tiempo que transcurre desde que se termina una actividad hasta que se inicia otra) y crear un flujo continuo en el proceso cuando se realizan cambios en las actividades.
- g) Desarrollo de proveedores. Requiere la creación y el mantenimiento de un vínculo continuo con los proveedores con el fin de crear beneficios mutuos. Los criterios para seleccionar proveedores serán calidad, servicio, oportunidad de mercado, condiciones comerciales, oportunidad de entrega y precio.
- h) Producción de una pieza por flujo (One piece flow). Supone crear un flujo continuo y pausado de los productos con el fin de evitar defectos de calidad e interrupciones del proceso.
- i) Automatización (Jidoka). Implica la utilización del talento de las personas, es decir, su sentido común para pensar e implementar automatizaciones de bajo costo. Por ejemplo: un simple archivo en Excel nos puede automatizar muchas actividades.
- j) Mecanismo a prueba de errores (Pokayoke). Mecanismo y herramientas para facilitar el trabajo de los empleados con el fin de prevenir errores. Resalta el error cometido de tal manera que sea obvio para el que lo ha cometido.
- k) Diseño de células de manufactura. Organización de los procesos en forma de células de trabajo cercanas con el fin de reducir transportes innecesarios y tiempos de espera.
- l) Mapeo de procesos y mapas de flujo de valor (Value Stream Mapping). La documentación y el análisis para hacer el seguimiento de los procesos de la empresa.

De estas herramientas se ahondará en las más importantes:



#### 4. El kaizen

El Kaizen o mejoramiento continuo puede seguir al menos los siguientes principios para su implementación:

- a) Principio rector 1. Los elementos básicos: separar, organizar, limpiar, estandarizar y autodisciplina en el área donde trabaja cada uno.
- b) Principio rector 2. El mantenimiento y mejoramiento de los estándares a través del ciclo de mejora y de gestión de Deming (PDCA por sus siglas en inglés): planear, hacer, verificar y actuar; y el ciclo de mantenimiento SDCA (por sus siglas en inglés): estandarizar, hacer, verificar y actuar.
- c) Principio rector 3. El enfoque hacia los procesos: orientarse al perfeccionamiento de los procesos para que mejoren sus resultados, la técnica que se utiliza en este principio rector es lo que se conoce como rediseño de procesos o “Kaikaku” (japonés).
- d) Principio rector 4. El enfoque en las personas: utilizar el talento de las personas para generar y acumular pequeñas mejoras incrementales y graduales lo largo del tiempo.
- e) Principio rector 5. La mejora continua del trabajo diario: búsqueda y eliminación de las actividades que no agregan valor a los procesos de trabajo y generan desperdicios.

#### 5. El último planificador (Last Planner System)

Last Planner System es una metodología basada en la filosofía Lean, cuyo objetivo es conseguir un flujo de trabajo continuo y una disminución de las actividades que no aportan valor (desperdicios).

En sus inicios fue desarrollada para mejorar la calidad de los planes de trabajo semanales en la industria (Howel & Ballard, 1997) en un proyecto de metalurgia donde se le requirió la organización de las órdenes de forma más clara y fácilmente interpretable por parte de los operarios. Posteriormente se le añadió un proceso de búsqueda hacia adelante (Ballard, 2000) para encontrar las restricciones que impedirán la ejecución de actividades futuras, y así controlar que el flujo de trabajo sea constante, extendiéndose con el tiempo desde la construcción hasta la ingeniería, originando lo que actualmente se conoce como Integrated Project delivery (IPD).

El anterior cambio de objetivos o evolución del Last Planner System desde un control semanal de los trabajos a un proceso de búsqueda hacia adelante controlando que el flujo de trabajo sea constante y se reduzcan los desperdicios, encaja en los principios del Sistema de Producción Toyota, la producción ajustada (justo a tiempo) y el pensamiento de Lauri Koskela, respecto a la teoría de producción y su aplicación a la construcción (Koskela, An exploration towards a production theory and its application to construction, 2000), cuando todos pensaban que sólo era aplicable a procesos repetitivos.

Tradicionalmente, se asocia el nacimiento de Last Planner System a la tesis "The Last Planner System of Production Control" de Glenn Ballard para optar el grado de Doctor, pero realmente supone una mejora de las herramientas tradicionales de programación en cascada. En 1997, cuando se funda el Lean Construction Institute (LCI) el Last Planner System ya había evolucionado aproximadamente a su forma actual. Lo que quedaba por hacer era mejorar el porcentaje de plan cumplido (PPC) por encima del rango de 35%-65% obtenida hasta ese momento, actualmente se recomienda superar el 90% pero dependerá de cada proyecto la meta a colocar. "The Last Planner System of Production Control " (Ballard G. , The Last Planner System of Production Control, 2000) establece los procedimientos para mejorar la fiabilidad del flujo de trabajo, diseñando un protocolo de actuación y las herramientas de medida de la productividad.

Actualmente la implementación de Last Planner System es una de las prácticas más divulgadas del "Lean Construction" en empresas de ingeniería y construcción, en países como Estados Unidos, Reino Unido, España, Dinamarca, Finlandia, Indonesia, Australia, Brasil y Chile.

El Last Planner System pretende llevar los objetivos generales de proyecto a la realidad del día a día, transformando las ideas generales a programas reales subdividiendo la programación por disciplinas y áreas aplicando herramientas de programación en cascada. Esta programación en cascada se organiza en tres niveles: Cronograma Meta o programación a largo plazo (Main Program), a medio plazo (Lookahead Program) y programación a corto plazo: plan de trabajo semanal (Weekly Work Plan) y plan diario.

Se llama en cascada porque primero se debe terminar la programación a largo plazo para pasar a la de medio plazo y terminar con la de corto plazo.

La metodología Last Planner System supone una revolución en la construcción, dado que no se trata de otro método de control de la producción. Se introducen conceptos como la colaboración entre los diferentes agentes, se cambia la planificación de escritorio por una planificación conjunta, donde todos los agentes implicados (ingenieros, supervisores, capataces, subcontratistas, encargado de logística, ingenieros de prevención de riesgos, etc) deciden qué, cómo y cuándo se realizarán los trabajos, consiguiendo un compromiso de los últimos planificadores (capaces) del avance de las actividades que son posible realizar, no las que se deberían hacer como se verá más adelante.

A continuación, se muestra una tabla en la que se ven las diferencias entre la producción convencional y la producción sin pérdidas:

*Tabla 1*

*Producción Convencional y Producción Lean (Alarcón, Lean Construction, 2008)*

	<b>Producción Convencional</b>	<b>Producción sin Pérdidas</b>
Objeto	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Control	Gestión, Asesoramiento y Control
Modo de aplicación	Impuesto por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y Corregir	Prevenir
Responsabilidad	Departamento de Calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y Externos
Conceptualización de la Producción	Todas las actividades agregan valor al producto	Hay actividades que agregan valor y otras que no agregan valor al producto.
Control	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos
Mejora	Implementación de nuevas tecnologías	Reducción de las actividades del flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología.

Como se ve para aplicar Last Planner debe haber convencimiento y participación para eso debemos analizar lo que se puede hacer.

Uno de los grandes cambios introducidos por el Last Planner System es el método de selección de las tareas que deben ser ejecutadas semanalmente. En la gestión tradicional, jefes de terreno, capataces y otras personas que participan directamente en la ejecución del trabajo planifican las tareas a ejecutar en función de aquello que DEBE ser hecho, dando por supuesto que los recursos necesarios estarán disponibles cuando se precisen, sin tener en consideración si realmente PUEDE ser hecho.

La presión a la que se ve sometida el último planificador (supervisor, capataz), dado que será evaluado por el cumplimiento de la programación, unida a la falta, escasa o tardía información, recursos o prerrequisitos, hace imposible que el SE HARÁ coincida con el DEBE, provocando un incumplimiento del programa y una improvisación en la gestión del trabajo.

En la Figura 3, Ballard muestra cómo la planificación del trabajo se realiza teniendo en cuenta la información previa y los objetivos del proyecto, siendo a posteriori cuando se consideran los recursos disponibles.

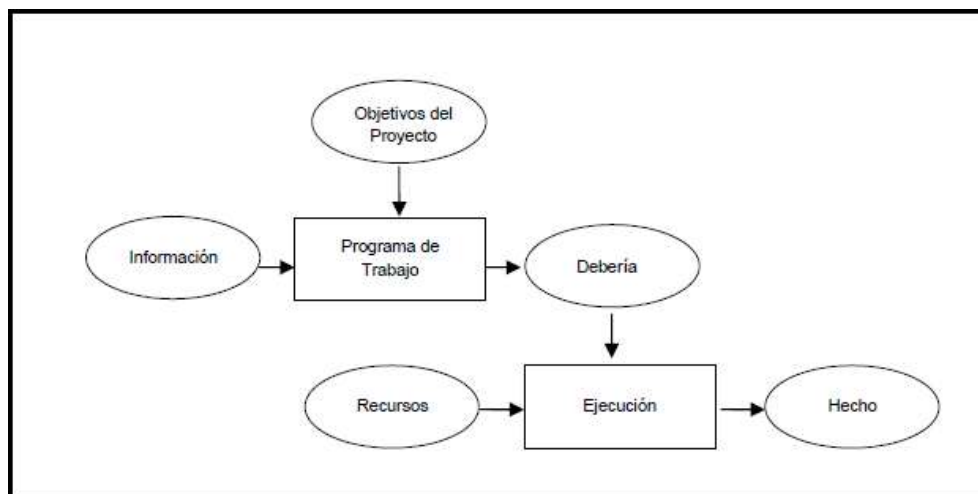


Figura 3. Sistema Tradicional Push (Empuje) (Ballard G. , *The Last Planner System of Production Control*, 2000)

En contraposición, el método del Last Planner System realiza la planificación de qué DEBO hacer teniendo en cuenta qué PUEDO realizar según los recursos, prerequisites etc. consiguiendo que aquello que SE HARÁ sea realmente ejecutable. En la Figura 4 observamos cómo la planificación tiene en cuenta aquello que se puede ejecutar antes de decidir qué se realizará.

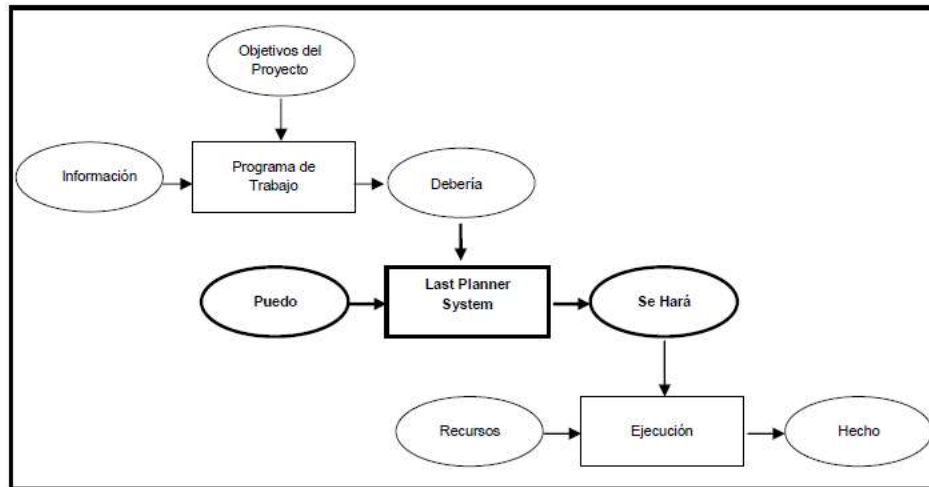


Figura 4. Last Planner System (Ballard G., *The Last Planner System of Production Control*, 2000)

Para aplicar last planner se debe ir de lo general a lo específico: desde el cronograma meta al plan diario.

### 5.1. Cronograma Meta

El cronograma meta es aquel con el que se inicia el proyecto. Proporciona una mirada integral de las actividades del proyecto y posee poco nivel de detalle. Es necesario que sea realista respecto a plazos de ejecución, recursos (mano de obra, materiales, equipos y subcontratos), secuencia de actividades, etc., de manera que siguiendo los hitos que en él se marcan se pueda aplicar Last Planner System y conseguir la ejecución del proyecto en tiempo.

Se recomienda que para realizar este cronograma meta se convoque a todas las áreas involucradas (áreas de producción y de soporte) y a todos los especialistas en las diferentes fases para que sea lo más real posible, a esto Ballard le llamó Planificación en Equipo por fases en su White Paper #7 Phase Scheduling (en español Planificación por fases).

Se recomienda trabajar en equipo porque esto produce las siguientes ventajas:

- Perfeccionamiento de procesos, solución de problemas.
- Mejora del proyecto.
- Mayor velocidad para reaccionar al cambio.
- Superación y aprendizaje permanente.
- Motivación del Personal.
- Logro de Sinergia.

El White Paper hace hincapié en que los plazos deben ser los de mejor rendimiento, es decir, sin aplicar ningún tipo de holguras. Las holguras serán consideradas en actividades colchón (reserva) o en un colchón al final del proyecto.

Finalmente, el equipo debe comenzar a pensar de atrás hacia adelante Pull (Tirar), esto es difícil porque se está acostumbrado a pensar de adelante hacia atrás y se tiene que cambiar esta mentalidad. En la planificación tradicional una actividad empuja a la siguiente, pero usando Last Planner la última actividad tira (Pull) de las anteriores, con esto aseguramos el final de la última actividad (hitos).

## **5.2. Programa Mirar hacia adelante (Lookahead Program)**

El Lookahead es el segundo nivel en la jerarquía de Last Planner System, en él se resaltan las actividades que deberían hacerse en el mediano plazo.

Su principal objetivo es controlar el flujo de trabajo, entendiéndose como flujo de trabajo la coordinación de diseño (planos), interferencias entre especialidades, proveedores (materiales y equipos), recursos humanos, información y requisitos previos, que son necesarios para que las cuadrillas cumplan su trabajo. Para poder cumplir las funciones del Lookahead, existen determinados procesos específicos:

### **a) Definición del intervalo de tiempo del Lookahead**

El número de semanas sobre el cual se extiende el Lookahead es escogido de acuerdo a las características del proyecto (ejemplo: proyectos largos o cortos), la confiabilidad del sistema de planificación, y los tiempos de respuesta para la adquisición de información, materiales, mano de obra y maquinaria. Algunas actividades tienen tiempos de respuestas largos para generar el abastecimiento, es decir, un largo período desde el momento en que se piden recursos hasta que éstos son recibidos. Estos períodos de respuesta deben ser identificados durante la planificación inicial para cada actividad incluida en el cronograma meta. Con ello el lookahead puede tener una duración de 2, 3, 4 semanas, etc.

#### **b) Definición de las actividades de la Planificación Lookahead**

Para preparar el Lookahead explotaremos las actividades del cronograma meta que estén contenidas dentro del intervalo definido (2,3,4 semanas, etc). Lo que obtendremos en el Lookahead es un conjunto de actividades para un intervalo de tiempo dado. Cada una de estas actividades tiene asociada un conjunto de restricciones, que determinan si la actividad puede o no ejecutarse.

Después de identificar cada una de las actividades y sus restricciones se procede a realizar el análisis de las restricciones.

#### **c) Análisis de Restricciones**

Una vez que las actividades sean identificadas, se someterán a un análisis de restricciones que pueden ser de diseño, trabajo previamente ejecutado, espacio, mano de obra, materiales, equipos, subcontratos, permisos del cliente, etc.

#### **d) Revisión**

Consiste en determinar el estado de las actividades en la planificación intermedia en relación a sus restricciones y a la probabilidad de removerlas antes del comienzo programado de la actividad, a partir de lo cual, se puede escoger adelantarlas o retardarlas con respecto al cronograma meta (programa maestro). El concepto de “Revisión” es la primera oportunidad que se presenta en el sistema para comenzar a estabilizar el flujo de trabajo, ya que se está tomando conocimiento que existen actividades que, llegado el momento de ejecutarlas, no podrán realizarse por tener restricciones que lo



impiden. La figura muestra que la labor del proceso de revisión (en inglés screening) es filtrar por última vez la información que va a entrar en el Lookahead.

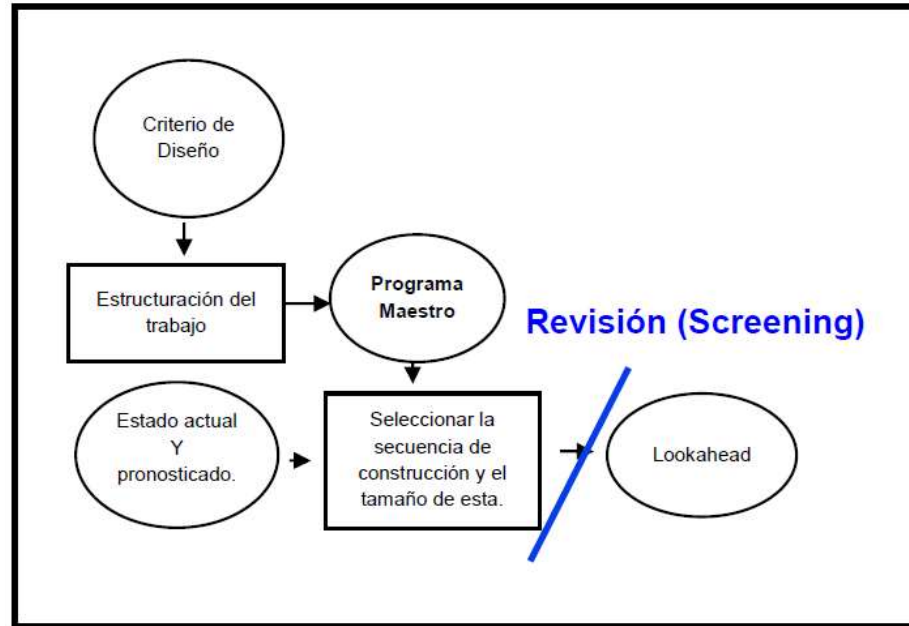


Figura 5. Revisión de actividades antes del Lookahead. (Ballard G. , *The Last Planner System of Production Control*, 2000)

### e) Preparación de Restricciones

Este término se refiere a tomar las acciones necesarias para remover las restricciones de las actividades, para que así estén dispuestas a comenzar en el momento fijado en el lookahead. El planificador puede remover las restricciones de una actividad para dejarla lista para ser asignada. Esta acción se conoce como “preparación”. La preparación es un proceso que tiene 3 pasos:

**Confirmar el “tiempo de respuesta”:** el remover una restricción de una actividad comienza por determinar quién es el último involucrado en liberar la última restricción faltante de esa actividad y determinar cuál es el tiempo de respuesta más probable para comenzar está. Este tiempo de respuesta debe ser más corto que la ventana Lookahead (2,3,4 semanas,etc) o la actividad no será admitida en este programa. Sin embargo, eventos imprevistos siempre pueden presentarse, por lo que el contacto con el cliente, los proveedores, subcontratistas es un elemento fundamental en el proceso de

preparación. La confirmación de los tiempos de respuesta es parte del proceso de revisión y debe ser repetido durante la actualización semanal del lookahead.

**Arrastrar:** El segundo paso del proceso de preparación es conocido como arrastre, que significa pedirle al que ejecuta la actividad restrictiva (supervisor, capataz), certeza sobre cuándo estará lista.

**Apresurar:** Si el período de respuesta anticipado es demasiado largo, entonces puede ser necesario asignar recursos adicionales para acortarlos. La idea fundamental es liberar a la actividad de las restricciones que le impiden ser ejecutada.

Hecho esto se está en condiciones de crear un listado de tareas que tiene alta probabilidad de ser cumplido, el inventario de trabajo ejecutable (ITE).

### 5.3. Programación de trabajo semanal

La programación semanal presenta el mayor nivel de detalle antes de ejecutar un trabajo. Debe ser realizada por gerentes de construcción, superintendentes e ingenieros de campo y capataces.

#### a) Formación del Programa de Trabajo Semanal

El Programa de Trabajo Semanal es una selección de actividades que se encuentran dentro del ITE (Inventario de Trabajo Ejecutable). Escoger que trabajo será ejecutado en la próxima semana desde lo que se sabe puede ser ejecutado (ITE), recibe el nombre de “asignaciones de calidad”. Sólo asignaciones de calidad pueden ser ejecutadas en el Programa de Trabajo Semanal, de modo que se protege el flujo de producción de incertidumbres, lo que apunta a crear un flujo confiable de trabajo. Los planes de trabajo semanal son efectivos cuando las asignaciones cumplen los cinco criterios de calidad:

**Definición:** ¿Las asignaciones son suficientemente específicas para que pueda recolectarse el tipo y cantidad correcta de información, mano de obra, materiales, equipos y subcontratos? ¿Es posible afirmar al final de la semana si la asignación ha sido terminada?

**Consistencia:** ¿Son todas las asignaciones ejecutables? ¿Se tiene claro lo que se requiere? ¿Se tiene lo que se necesita de otras áreas? ¿Se tienen todos los materiales y equipos disponibles? ¿Están los trabajos preliminares completados?

**Secuencia:** ¿La selección de asignaciones fue hecha en orden de prioridad (para el cliente) y constructibilidad? ¿Son el resultado de estas asignaciones esperadas por alguna otra disciplina? ¿Existen asignaciones adicionales consideradas de baja prioridad identificadas en el inventario de trabajos ejecutables para suplir a otras en caso de fallar la programación (actividades de reserva)?

**Tamaño:** ¿Los tamaños de las asignaciones se determinan según la capacidad de las unidades del proyecto antes de comenzar el período de ejecución?

**Retroalimentación o aprendizaje:** Para las asignaciones que no son completadas en la semana ¿Existe una identificación de las causas de no cumplimiento (CI) y de las acciones correctivas?

### b) Porcentaje de Programa Cumplido

Last Planner System necesita monitorear el desempeño de cada Programa de Trabajo Semanal para estimar su cumplimiento. Este monitoreo, que es el primer paso para registrar fallas e implementar mejoras, se realiza a través del Porcentaje de Programa Cumplido (PPC). El PPC evalúa porcentualmente hasta qué punto Last Planner System fue capaz de anticiparse al trabajo que se haría en la semana siguiente. Es decir, compara lo que se programó en el Programa de Trabajo Semanal con lo que realmente fue ejecutado, reflejando así la confiabilidad del sistema de planificación.

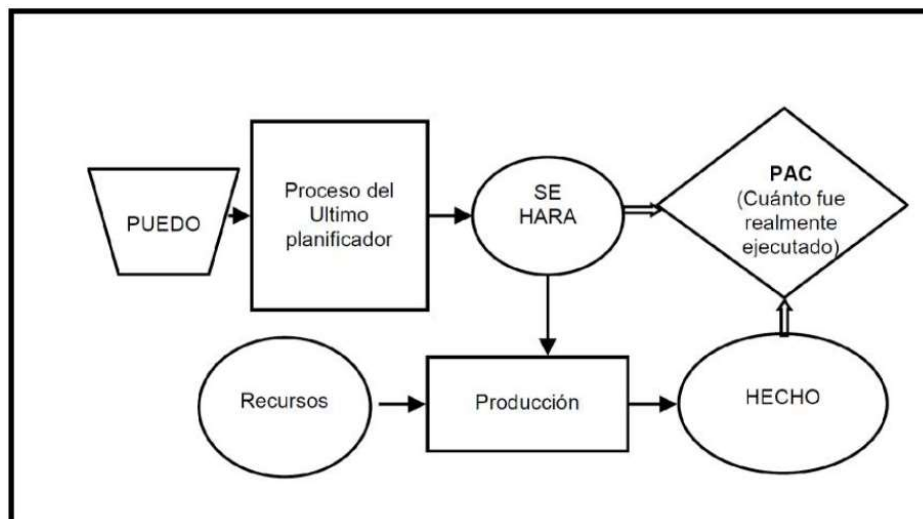


Figura 6. Porcentaje Programa Cumplido (Ballard G. , *The Last Planner System of Production Control*, 2000)

Es importante destacar el PPC mide el cumplimiento de lo programado, no el avance de obra, es decir, cuán acertado o no han sido los compromisos adoptados, de manera que los resultados se miden de forma binaria: 1 si se ha cumplido el compromiso adoptado y 0 si no se ha alcanzado. Esto se divide entre la cantidad de actividades programadas y se multiplica por 100%. Se recomienda que este indicador este sobre el 90% pero dependerá de la complejidad de cada proyecto, el que sea menor o mayor.

Si una actividad no pudo ser ejecutada se debe indicar las causas de incumplimiento. Estas pueden ser por:

- **Programación:** Implican errores en la programación, cambios en la programación o mala utilización de las herramientas de programación (lookahead, análisis de restricciones y plan semanal).  
Ejemplo: Se programó una actividad que no podía hacerse porque las predecesoras no iban a estar listas.
- **Logística de Materiales:** Todo lo que comprende la falta de materiales en el Proyecto.  
Ejemplo: Se programó una actividad de pre ensamble pero el material no llego a tiempo.
- **Actividades Previas:** Esta causa indica el no cumplimiento de las actividades por retrasos en actividades previas.  
Ejemplo: Se iba comenzar con los trabajos de montaje de bandejas eléctricas pero las estructuras no estaban listas.
- **Interferencias:** Similar a las actividades previas, pero en este caso no se puede hacer el trabajo porque otra disciplina u otro contratista está ejecutando trabajos en la zona en el mismo momento que se tenía programado.  
Ejemplo: Se iban a montar estructuras pero la disciplina mecánica está montando los tanques.
- **Cliente- Supervisión:** Estas causas implican todo lo relacionado a compromisos del cliente que no fueron realizados y que afectaron al cumplimiento de las actividades del plan semanal, así como cambios o modificaciones que surgen a raíz de necesidades del cliente.

Ejemplo: Se iba iniciar con el pintado de las tuberías, pero el suministro de tuberías que es por parte del cliente no llegó.

- **Externas:** Todas las causas que originan retrasos por razones climáticas o por eventos extraordinarios como paros huelgas, accidentes, etc.

Ejemplo: Se tuvieron que paralizar las actividades por una huelga de trabajadores de construcción civil.

- **Ingeniería:** Son las causas que corresponden a cambios en la ingeniería.

Ejemplo: Se iba iniciar el montaje de la tubería pero se detectó que su trazo debía ser cambiado porque se cruzaba con otra tubería.

- **Mantenimiento de equipos:** Todas las causas que implican averías en los equipos que no permitieron el cumplimiento de las actividades del Plan Semanal.

Ejemplo: Se tenía un montaje programado, pero la grúa fallo.

- **Subcontratas:** En este punto se consideran todas las causas de incumplimiento relacionadas al atraso debido al no cumplimiento de alguna labor encargada a una subcontrata.

Ejemplo: Llegada tardía del subcontratista para las pruebas eléctricas.

- **Logística de Equipos:** En este punto se consideran las causas de incumplimiento que corresponden a la falta de equipos en el Proyecto.

Ejemplo: Se requiere un cargador frontal para poder llevar las estructuras de la torre, el cual debía ingresar antes.

- **Topografía:** Todas las causas que competen al área de topografía del proyecto y sus actividades no pertenecen al área de producción.

Ejemplo: Replanteó topográfico del trazo de la línea de transmisión.

- **Logística de Personal (Administración):** Todas las causas que competen al área encargada de reclutar el personal y su ingreso al Proyecto.

Ejemplo: El área de administración no tiene los pases listos para el ingreso del personal a obra.

- **Permisos:** En este punto se consideran todas las causas que implican el incumplimiento de los organismos responsables de otorgar las licencias o permisos solicitados de antemano por el Proyecto.  
Ejemplo: Se encontró restos arqueológicos cerca al proyecto y se está a la espera de los permisos.
- **Errores de ejecución:** Se consideran las causas que corresponden a atrasos debido a re trabajos en el proceso constructivo, es decir, que por errores de ejecución no se pudieron cumplir otras actividades programadas.  
Ejemplo: Se colocó una estructura en un lugar incorrecto por lo que tiene que ser movida y eso impide que se puedan colocar las bandejas de electricidad.
- **Control de Calidad:** En este punto se consideran las causas de incumplimiento que corresponden a fallas o atrasos del área de control de calidad del Proyecto.  
Ejemplo: No se puede energizar porque no se entregaron los protocolos de la calidad de la instalación de los equipos eléctricos.

Estas causas se pueden adaptar al proyecto.

Finalmente no solo es necesario identificar la causa de incumplimiento sino también, la medida correctiva (recomendaciones) y ejecutarla para aplicar la mejora continua, sin este último punto no se estaría aplicando Last Planner de forma correcta.

## 6. Los Cinco Por Qué

También llamada escalera de porqués es una herramienta desarrollada por Sakichi Toyoda, basada en realizar preguntas para buscar la causa raíz de un problema (efecto). Se basa en la trazabilidad, analizando las posibles causas de adelante hacia atrás. Se tiene que tener en cuenta que no necesariamente serán 5 preguntas si no la cantidad que nos lleve a la causa raíz. Esta herramienta se aplicará para identificar las causas de las pérdidas o las causas de incumplimiento vistas anteriormente.

## 7. Diagrama de Ishikawa, Causa/Efecto

Representa la relación entre el problema (efecto) y sus causas probables. Para ello se identifican múltiples categorías de fuentes probables de un problema, una de las

clasificaciones puede ser la conocida como 6M's (Mano de Obra, Materiales, Máquina, Método, Medición, Medio) o las categorías de fuentes (Planificación, Gestión en etapa de construcción, materiales, maquinaria/ herramientas, mano de obra y sistemas de información).

Los pasos para la realización del diagrama de Ishikawa son las siguientes:

- Defina y describa el problema o pérdida (sobreproducción, inventario, defectos, movimiento, procesamiento, espera, transporte, talento y hacer por hacer).
- Identifique causas posibles por tipo (6M'S) o fuente.
- Jerarquizar las causas por importancia.
- Clasifique en causas relevantes y frecuentes.
- Elimine causas incontrolables.
- Seleccione las causas raíces.

Las causas comunes por categoría son:

**a) Gestión Administrativa**

- Planificación Previa: No existe un plan de trabajo o si existe es poco realista o no contempla todos los elementos.
- Selección de recursos: Los recursos no son de la calidad requerida.
- Estimación de recursos: La cantidad de recursos es insuficiente o excesiva.

**b) Etapa de Construcción**

- Planificación de campo: No existe una programación de campo que permita el cumplimiento del planeamiento original.
- Requerimientos innecesarios: Procedimientos que podrían ser eliminados de una actividad ya que no generan valor.
- Problemas de control: procedimientos de control ineficientes para el aseguramiento de la calidad.
- Burocracia: Tramitación innecesaria.
- Coordinación: Relación deficiente entre los involucrados en una actividad.
- Falta de frente: No poder continuar las actividades debido a que las precedentes no han sido terminadas.
- Ausencia de Procedimientos: Inexistencia de documentos aprobados por la supervisión para poder realizar las actividades.

-Seguridad y salud ocupacional: Sistemas ineficientes para asegurar la salud del trabajador.

**c) Materiales**

-Cantidad: Existe falta o exceso de materiales

-Uso: Los materiales no son usados según especificaciones.

-Distribución: Los materiales no son repartidos eficientemente.

-Calidad/ Defectos de fábrica: El material no es de la calidad especificada.

-Disponibilidad: El material no llegará a tiempo a obra.

-Extravió: Los materiales no son ubicables.

-Almacenamiento: los materiales no son guardados adecuadamente para evitar su deterioro.

**d) Mano de Obra**

-Cantidad de personal: Existe deficiencia o exceso de personal.

-Competencias técnicas: El personal no posee la experiencia o certificación necesaria.

-Comportamiento inseguro: El personal realiza acciones temerarias poniendo en riesgo su integridad.

-Distribución: El personal no ha sido asignado eficientemente a todas las actividades.

-Liderazgo: Falta de habilidades directrices en los cargos de jefatura.

-Confianza: No existe un ambiente laboral grato.

-Comunicación: El personal no comparte la información.

-Compromiso: El personal no realiza el trabajo con la motivación necesaria.

**e) Herramientas /Maquinarias**

Similar a la de los materiales para incluye uno adicional:

-El mantenimiento: El mantenimiento preventivo no se realiza o tiene una duración larga.

**f) Gestión de la información:**

-Innecesaria: Existe información que no es relevante.

-Defectuosa: La información contiene errores.

-Claridad: La información es difícil es ambigua.

-Disponibilidad: La información no existe.

-Confiabilidad: La información no está actualizada.

-Atrasada: La información necesaria no llega a tiempo.



## 8. Formato A3:

Es una herramienta que implica la manifestación visual de un proceso de pensamiento para la resolución de problemas suele incluir los siguientes elementos:

- a) Título: Nombre del problema.
- b) Responsables: Son los asignados a resolverlo.
- c) Contexto: Debe definir las dimensiones del problema y potenciales impactos.
- d) Situación Actual: Se establece el estado actual del problema debe responder las preguntas: ¿Qué se está haciendo actualmente? ¿Cuál es la gravedad del problema?
- e) Meta u Objetivos: Normalmente se establece un objetivo principal y unos objetivos específicos. La meta es útil para representar la condición de suficiencia.
- f) Análisis: Se recomienda analizar cada dimensión por separado, utilizando información de campo, indicadores y la búsqueda de causas raíces.
- g) Medidas propuestas: Las medidas básicas corresponden a: aceptar, transferir, mitigar o eliminar una problemática. Pueden ser de carácter preventivo o reactivo, pero se recomienda lo primero.
- h) Plan: Cada medida propuesta debe constituir un compromiso, por lo que debe tener un plan (acciones y fechas comprometidas).
- i) Seguimiento: El seguimiento establece en primer lugar indicadores de proceso, asociados a la condición de suficiencia de cada medida e indicadores de resultado asociados a la meta (monitoreo). Ejemplo: Porcentaje de pérdida del material, consumo de combustible y energía eléctrica, porcentaje de utilización y falla de equipos, rendimiento de la mano de obra, etc.

Una vez encontrada la mejora, la segunda parte establece un proceso y plazo de seguimiento que permite verificar cuándo la mejora deseada es estandarizada.

La tercera parte del plan permite saber cuándo volver a realizar un proceso de mejora, con ello se aplica la mejora continua.

## II.3. Definición de términos técnicos

- **Sistema:** Conjunto de elementos que interactúan para obtener un fin común.
- **Gestión:** Conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización o proyecto.
- **Proyecto:** “Es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”. (Project Management Institute, 2013)

- **Sistema de Gestión de Proyectos:** Conjunto de metodologías, políticas, herramientas, etc., que permiten a los equipos de trabajo realizar actividades coordinadas para dirigir y controlar un Proyecto.
  
- **Pérdida:** Actividades que usan recursos, pero no agregan valor al cliente.
  
- **8 tipos de desperdicios**  
Son los siguientes:  
  
Transporte: Mover gente, productos e información.  
  
Inventario: Inventario de partes, piezas y documentos antes que sea requerido.  
  
Movimiento: Caminar, alcanzar, subir, doblarse, voltearse.  
  
Espera: Espera de partes, información, instrucciones o máquina.  
  
Sobre producción: Fabricar más de lo que inmediatamente es requerido.  
  
Procesamiento inadecuado: Tolerancias inadecuadas, herramientas complejas, procesos como inspección, preparación, conteo, desempaque, etc.  
  
Defectos: Retrabajos, piezas defectuosas, documentos incorrectos.  
  
Talento no aprovechado: Capacidad y habilidad no utilizada, delegar tareas con entrenamiento inadecuado.
  
- **Partida crítica:** Actividad que forma parte de la ruta crítica con alta incidencia en el costo, plazo y calidad.
  
- **Valor:** Producir exactamente lo que el cliente necesita exactamente cuándo lo requiera. (Womack, 2002)
  
- **Secuencia de valor:** Una serie de tareas y actividades (valor agregadas y no valor agregadas) necesarias para transformar un producto o un grupo de productos desde la materia prima hasta el producto terminado para su entrega al cliente. (Womack, 2002)

- **Flujo de una sola pieza (Flujo continuo):** El estado ideal caracterizado por la habilidad de reponer una parte que ha sido “retirado” desde el proceso subsecuente. Flujo de una sola pieza es sinónimo de producción Justo a tiempo (JIT), que asegura que los clientes internos y externos reciban únicamente lo necesario, justo cuando se requiere, y en las cantidades exactas necesarias. (Womack, 2002)
- **Sistema Jalar (Pull):** Un sistema de planeación de manufactura basado en comunicación en tiempo real de las necesidades desde las operaciones finales (subsecuentes)- ensamble final o equivalente- opuesto a Sistema Empujar (Push) que programa todas las operaciones basado en el pronóstico. (Womack, 2002)
- **Trabajo Productivo (TP):** Actividades que agregan valor y por las que el cliente está dispuesto a pagar.
- **Trabajo Contributorio (TC):** Actividades que son necesarias, pero no agregan valor directamente. Estas actividades también requieren esfuerzos para minimizarlas, integrarlas, simplificarlas o eliminarlas.
- **Trabajo No Contributorio (TNC):** Actividades innecesarias que no agregan valor y son consideradas pérdidas.
- **Productividad:** Eficiencia en uso de los recursos como resultado de un flujo continuo (no hay tiempos muertos), una buena programación (confiabilidad) y mermas mínimas.  
El control de la productividad es la medición de la eficiencia, el análisis de dicha medición y la implementación de mejoras.

### III. HIPÓTESIS

#### III.1. Declaración de hipótesis

Un sistema de gestión de proyectos basado en la filosofía Lean y en los estándares del Instituto de Gerencia de Proyectos (Project Management Institute) en una compañía de construcción aumenta su productividad capital.

#### III.2. Operacionalización de variables

##### A. Variables

G.1. Variable Dependiente:

Productividad: relación entre la cantidad de productos obtenida y la cantidad de recursos utilizada, o la cantidad de productos obtenida y el tiempo utilizado.

G.2. Variable Independiente:

Cantidad de productos obtenida

Cantidad de recursos utilizada

El tiempo utilizado

o en valor ganado

Valor ganado (EV) o Trabajo Productivo

Costo Real (AC) o Trabajo Productivo, Contributorio y No Contributorio

Valor Planificado (PV) o Trabajo Productivo que se planificó

**Índice de productividad:** Se pueden expresar de la siguiente forma:

$$\text{índice productividad} = \frac{\text{cantidad de productos obtenida}}{\text{Recursos}(MO, EQU, MAT, SUBC)}$$

$$\text{índice productividad} = \frac{\text{cantidad de productos obtenida}}{\text{Tiempo Utilizado}}$$

O en Valor Ganado:

**Índice del desempeño del costo (CPI):** Medida de la eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real.

$$CPI = EV/AC$$

**Índice del desempeño del cronograma (SPI):** Medida de la eficiencia del cronograma que se expresa como la razón entre el valor ganado y el valor planificado.

$$SPI = EV/PV$$

### III.3. Propuesta de solución

Antes de mostrar el Sistema de Gestión Basado en la Filosofía Lean y el PMBOK para proyectos de Construcción, el cuál va ser aplicado a un proyecto de líneas de transmisión y luego generalizado.

Se seleccionarán las actividades trascendentes (partidas críticas), esto con el fin de que el sistema de gestión que si bien es cierto se puede aplicar a todas las actividades del proyecto, priorice aquellas que forman parte de la ruta crítica en el programa con alta incidencia de costo, plazo y calidad.

#### A. Selección de las Partida Críticas

Para seleccionar las partidas críticas se deben seguir 3 requisitos:

- La partida debería ser de carácter repetitivo para que pueda ser sujeta a mediciones que corroboren la efectividad de las medidas aplicadas.
- La partida debe ser relevante, lo que excluye las actividades contributorias y de soporte. Por ejemplo: se excluye la instalación de las facilidades como el almacén, las oficinas, etc.
- El horizonte de ejecución de la partida debe permitir la implementación de un ciclo de mejora continua, no menos de dos meses.

De las múltiples actividades que conforman el proceso constructivo de las líneas de transmisión, se seleccionó 10 que cumplen los 3 criterios, a continuación, se enumeran y se describen para el conocimiento del lector:

#### 1. Clasificación de piezas de torre

Proceso mediante el cual se separan las piezas de un mismo tipo:

- Brazos
- Cuerpo común parte superior, parte media y parte inferior

- Patas

Esta actividad se hace para las 370 torres, es relevante y tomará 3 meses.

**2. Transporte de piezas de torre**

Proceso mediante el cual se transportan las piezas correspondientes a una torre a su ubicación final. Para eso lo ideal es usar un camión grúa y en accesos difíciles se usa un cargador frontal o un tractor con carreta. Esta actividad se hace para las 370 torres, es relevante y tomará 3 meses.

**3. Pre-ensamblaje de torres**

Proceso mediante el cual se pre-ensamblan las piezas de las torres en partes parciales para no tener que ensamblar todo durante el montaje. Esta actividad se hace para las 370 torres, es relevante y tomará 3 meses.



*Figura 7. Partida Crítica Pre-ensamblaje de torres.*

**4. Montaje de torres**

Proceso mediante el cual se completa el ensamblado de las torres. Se utiliza un equipo llamado winche (motor), una pluma (estructura metálica para el desplazamiento del personal) de 9 ó 12 metros y poleas

para poder elevar las estructuras. Esta actividad se hace para las 370 torres, es relevante y tomará 3 meses.



*Figura 8. Partida Crítica Montaje de Torres*

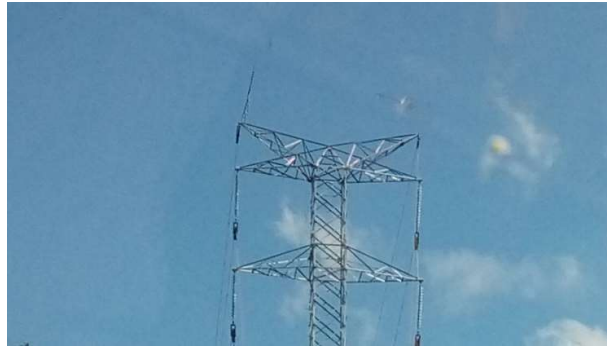
**5. Revisión de torres**

Es el proceso por el cual se completan las piezas que hayan quedado incompletas en el montaje y se revisa el correcto torqueo (ajuste) de los pernos. Esta actividad se hace para las 370 torres, es relevante y tomará 3 meses.

**6. Instalación de aisladores y poleas**

Proceso por el cual se colocan los aisladores y las poleas provisionales por las cuales correrá el cable conductor, la fibra óptica y el cable de guarda. Esta actividad se hace para las 370 torres, es relevante y tomará 3 meses.





*Figura 9.*Partida Crítica Instalación de aisladores y poleas

#### **7. Instalación de cordina**

La cordina, es el cable guía, con el cual se va jalar el cable conductor. Por ser pesada en accesos dónde no ingresan vehículos, se instala primero una soga de polipropileno que jalará la coordina. Esta actividad se hace para los 118 kilómetros, es relevante y tomará 2 meses.



*Figura 10.*Partida Crítica Instalación de cordina.

#### **8. Tendido de conductor**

Es el proceso por el cual se jala la cordina, la cual jala el cable conductor, usando un winche y del otro lado un freno, este último retira el cable de la bobina.



En este proceso debe haber una persona por torre vigilando que la coordina o el cable conductor no se descarrilen de la polea, de darse ese caso tienen que avisar mediante una radio a los operadores de winche y freno para que detengan los trabajos. Seguidamente subirá a la torre y devolverá el cable a la polea. Esta actividad se hace para los 118 kilómetros, es relevante y tomará 2 meses



*Figura 11. Partida Crítica Tendido de conductor*

## **7. Nivelado y grapado de conductor**

Esto se realiza con un topógrafo y consiste en cortar el cable en las torres de anclaje (torres más robustas) y fijarlo a ellas dando la flecha (máximo desplazamiento debido al peso del cable respecto a la línea horizontal) según estudio.

En las torres de suspensión (torres más livianas) el cable ya no es cortado sino que se grapa al aislador buscando que éste quede completamente vertical. Esta actividad se hace para los 118 kilómetros, es relevante y tomará 2 meses.



*Figura 12.*Partida Crítica Nivelado y grapado de conductor

### **8. Realización de cuellos y bajadas de OPGW**

Debido a que el cable fue cortado en las torres de anclaje, se tiene que hacer la unión en estas torres para que haya continuidad de la corriente eléctrica.

Como el cable OPGW viene por partes se tiene que hacer la bajada para que el subcontratista haga el empalme respectivo, en algunos casos se coloca una caja de derivación por si se necesita proveer de algún servicio a esa zona. Estas actividades se hacen para las 370 torres, son relevantes y tomarán 2 meses.

Conocidas estas 10 partidas críticas, se pasará a enunciar el sistema de gestión basado en Lean Construction y el standard del Project Management Institute.

## B. SISTEMA DE GESTIÓN APLICADO A UNA LINEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

El sistema de gestión planteado tiene 6 procesos: Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo, Control (Ciclo Deming) y Cierre.

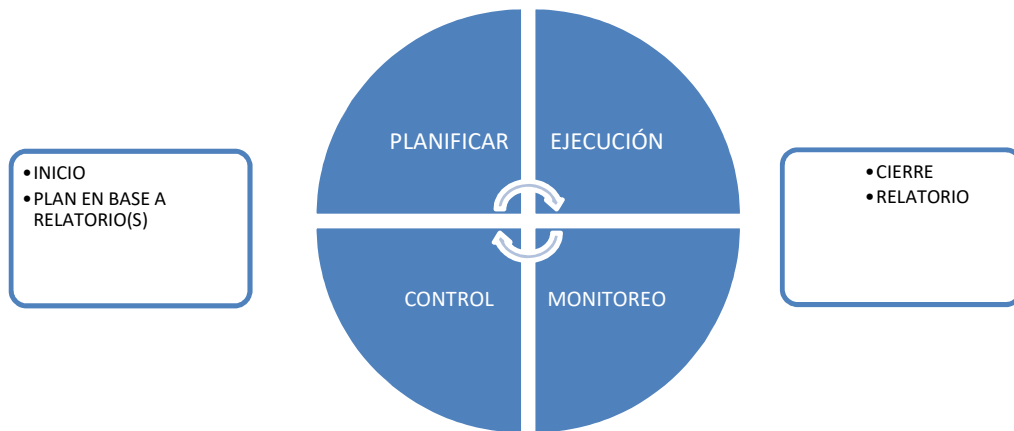


Figura 13. Sistema de Gestión basado en Lean y PMI.

### 1. INICIO

El proceso de inicio tiene 2 pasos:

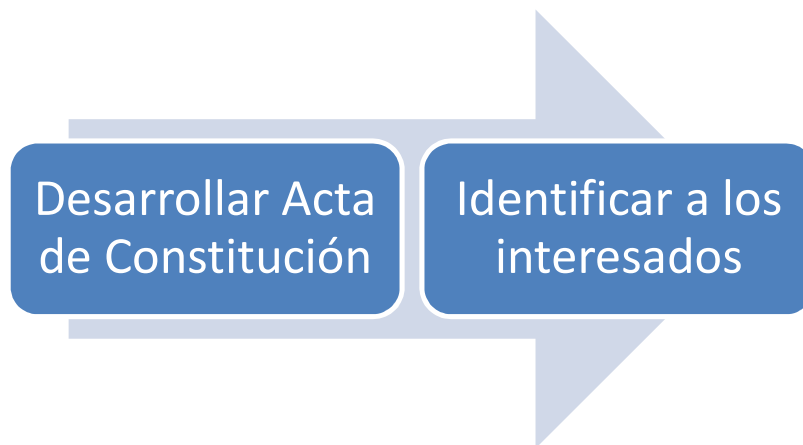


Figura 14. Proceso de Inicio

### 1.1. Desarrollar Acta de Constitución

“Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto es el proceso de desarrollar un documento que autoriza formalmente la existencia de un proyecto y confiere al director del proyecto la autoridad para asignar los recursos de la organización a las actividades del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

Emisión de la Carta de Inicio del Proyecto, para comunicar formalmente a la organización el inicio del nuevo Proyecto y sus responsables. Dicha carta será enviada por correo electrónico a todos los interesados.

#### **Ejemplo:**

Minera Panamá confirma a Stracon GyM que acepta su propuesta e indica la fecha de inicio de los trabajos.

Inmediatamente Stracon GyM envía un correo a todas las áreas de soporte e interesados del proyecto comunicando el inicio del Proyecto y sus responsables.

Como tercer paso se da una reunión para elaborar el Acta de Constitución del proyecto dando los poderes al gerente de proyecto y al administrador, delimitando responsabilidades tanto del equipo de proyecto como de las áreas de soporte (Equipos y logística, Administración y Finanzas, Sistemas y Comunicaciones, Recursos Humanos, Prevención de Riesgos y Gestión Ambiental, Control de Calidad, Comercial y Legal).

### 1.2. Identificar a los interesados

“Identificar a los interesados es el proceso de identificar a las personas, grupos u organizaciones que podrían afectar o ser afectados por una decisión, actividad o resultado del proyecto, así como de analizar y documentar información relevante a sus intereses, participación, interdependencias, influencia y posible impacto en el éxito del proyecto.” (Project Management Institute, 2013)

La Reunión de Inicio con el Cliente (Kick off Meeting – KOM) es una herramienta a través de la cual se alinean los intereses del Cliente y de la Empresa, se identifican los objetivos comunes y se establecen los canales de comunicación, a diferentes niveles, para garantizar un desempeño óptimo del proyecto, en vistas de cumplir con las expectativas del Cliente.

Esta reunión involucra la presentación de los equipos de trabajo de las dos partes, e incluye definir los criterios técnicos y contractuales para el mejor desarrollo del proyecto, sobre todo los referentes a las aprobaciones por parte del Cliente.

No sólo el Cliente y los trabajadores serán parte de los interesados también el gobierno, las instituciones, las comunidades, etc.

**Ejemplo:**

Se identifica a los interesados como el cliente Minera Panamá, los accionistas de Stracon GyM, los trabajadores de Stracon GyM, el Gobierno de Panamá y las comunidades desde Aguas Calientes hasta Punta Rincón.

## 2. PLANIFICACIÓN

La segunda parte es la planificación, la cual será a largo, mediano y corto plazo.

La falta de planificación es una fuente muy común de pérdidas. Se planificará principalmente el alcance, el tiempo y los costos, entre otras áreas del conocimiento porque de estas tres depende fundamentalmente la productividad como se ve a continuación:

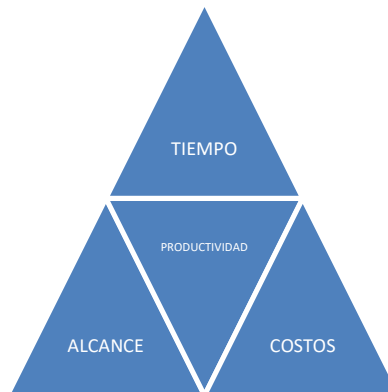


Figura 15. Esquema de Planificación

### 2.1. Planificar la Gestión de Alcance

“Planificar Gestión de Alcance es el proceso de crear un plan de gestión del alcance que documente cómo se va **definir, validar y controlar el alcance del proyecto**”. (Project Management Institute, 2013)

**El valor del alcance del proyecto se va definir** desde el punto de vista del cliente.

Por lo general los miembros del proyecto se sienten especialistas en lo que hacen y piensan que lo que hagan será lo mejor para el cliente.

Poniendo un ejemplo muy simple:

Piense en la casa de sus sueños: una casa de un piso con piscina y con un huerto grande, etc. Si su compañero de trabajo piensa en la casa de sus sueños seguramente será muy distinta, quizás parecida pero nunca igual. ¿Por qué? Porque todos tienen distintas necesidades, aficiones, preocupaciones, etc.

Así, su cliente tiene un proyecto, el cual quiere de acuerdo a sus necesidades y para ello se debe ver el proyecto desde el punto de vista del cliente. Será **válido para el alcance del proyecto** todo lo que

generé valor al cliente y será considerado desperdicio todo lo que no le genere valor.

La planificación de la gestión del alcance termina entregando la estructura de descomposición del trabajo como se ve en la siguiente Figura:

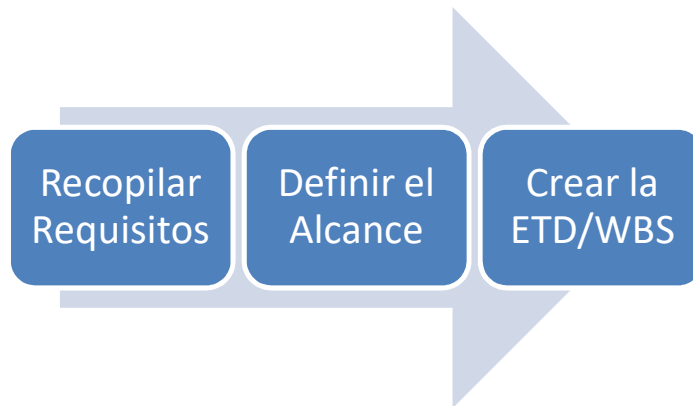


Figura 16. Esquema de Planificación del Alcance.

### 2.1.1. Recopilar Requisitos y Definir el Alcance

“Recopilar Requisitos es el proceso de determinar, documentar y gestionar las necesidades y los requisitos de los interesados para cumplir con los objetivos del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

“Definir el Alcance es el proceso que consiste en desarrollar una descripción detallada del proyecto y del producto”. (Project Management Institute, 2013)

El Alcance del Proyecto está definido por todos los requisitos recopilados: el contrato y sus documentos relacionados, y está conformado por todas las necesidades, requerimientos y obligaciones bajo las cuales fue adjudicado.

El alcance debe incluir todos los trabajos requeridos para completar el Proyecto satisfactoriamente de acuerdo al Contrato. Debe tener un

sustento basado ya sea en los documentos iniciales o en los documentos de negociación efectuados. Toda esta documentación debe estar claramente incorporada en el Contrato respectivo.

Los análisis de riesgos y oportunidades técnicas, legales y comerciales deberán señalar cualquier vacío, ambigüedad o contradicción en la definición del alcance que exista en la documentación entregada por el Cliente. En tal caso, el Gestor de Contratos deberá tomar todas las acciones que correspondan para hacer la definición pertinente y lograr su inclusión en el Contrato. En su defecto, se tomarán acciones orientadas a mitigar el riesgo identificado.

Siguiendo las recomendaciones del PMBOK, se sugiere enunciar por escrito el alcance definido, a fin de que pueda ser transmitido de manera eficaz a todo el personal del Proyecto.

**Ejemplo:**

Proyecto Línea de Transmisión Minera Panamá, subsidiaria de First Quantum Minerals. es un proyecto de 120 km que parte desde Punta Rincón (Colón, Panamá) hasta Llano Sanchez (Aguadulce, Panamá).

Consiste en el montaje de 370 torres y tendido de dos ternas de conductor que llevarán energía desde dos centrales termoeléctricas a carbón ubicadas en Punta Rincón hasta la Planta de Procesos de Minera Panamá y también hasta la subestación Llano Sanchez para que puede ser vendida al Estado Panameño.

**2.1.2. Crear la ETD/WBS**

“Crear la ETD/WBS es el proceso de subdividir los entregables y el trabajo del proyecto en componentes más pequeñas y más fáciles de manejar”. (Project Management Institute, 2013)

Se recomienda que la subdivisión no sea muy extensa ya que será difícil de manejar.



### **Ejemplo:**

La ETD/WBS del proyecto Línea de Transmisión se dividirá en 3 frentes:

Tramo 1, de la subestación Llano Sanchez (Aguadulce) a la Pintada (Coclé).

Tramos 2, de la Pintada (Coclé) a subestación Botija (Planta Concentradora de Minera Panamá).

Tramos 3, de la subestación Botija (Planta Concentradora de Minera Panamá) a Punta Rincón (Colón).

Y estas a su vez en 3 partes: Logística, Montaje de Torres e Instalación de Cables.

## **2.2. Planificar la Gestión del Tiempo del Proyecto**

“Planificar la Gestión del Cronograma es el proceso de establecer las políticas, los procedimientos y la documentación necesarias para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

Es un proceso que tiene como objetivo obtener el cronograma meta del proyecto.

Debe ser política de la empresa de construcción que el cronograma meta se desarrolle por todos los miembros del equipo de Proyecto con esto se estará aplicando el último Planificador (Last Planner). Ya que la participación de los ejecutores es fundamental para obtener un cronograma realista, flexible y que aporte valor como herramienta de gestión.

Otra política es que el cronograma de actividades, este relacionado al cronograma de recursos, para lograr un enfoque realista, se recomienda usar un Software como el Primavera P6 ó el Microsoft Project. El esquema del proceso será el siguiente:

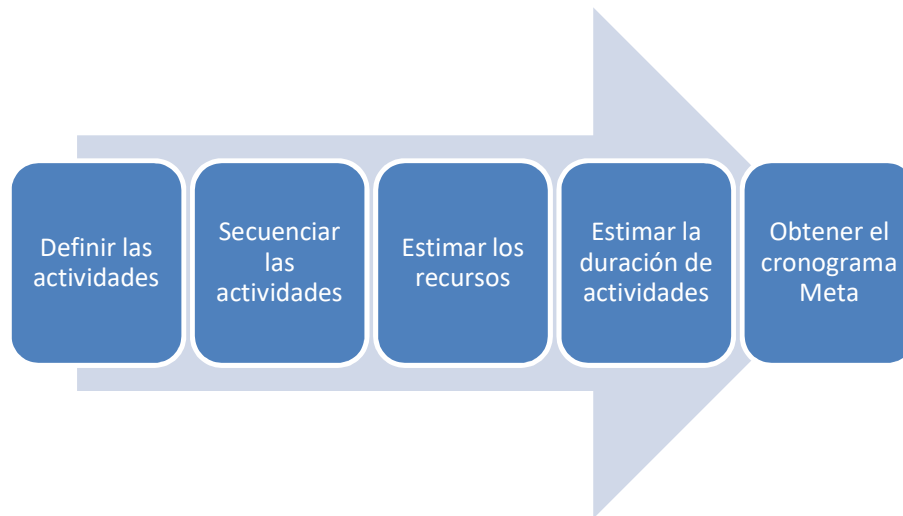


Figura 17. Esquema de Gestión del Tiempo del Proyecto

### 2.2.1. Definir las actividades

“Definir las actividades es el proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para generar los entregables del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

Las actividades son las tareas específicas que deben ser realizadas durante la ejecución de un Proyecto para llevarlo a cabo. Las actividades se definen en función de las necesidades del Proyecto y con el detalle necesario para poder plasmar las estrategias a utilizar a lo largo del Proyecto. Para definir las actividades es necesario:

- Incluir todas las actividades críticas que pertenecen al desarrollo constructivo del Proyecto, es decir todas las actividades de producción necesarias para realizar el Proyecto.
- Incluir todas las actividades que representen hitos contractuales del Proyecto.
- Incluir aquellas actividades que, aunque no sean parte de nuestro alcance de Proyecto y su ejecución sea por parte del Cliente, supervisión u otros contratistas, afecten al desarrollo de

nuestras actividades. Podrán representarse como actividades y/o como hitos.

- Se debe identificar las autorizaciones, permisos y aprobaciones identificados en el proceso de análisis y que dada su criticidad afecten el inicio y/o desarrollo del Proyecto, ya sea por exigencias de organismos públicos, privados o del Cliente. Las fechas de cumplimiento que se consideren críticas deberán incluirse como hitos en el cronograma.

**Ejemplo:**

Las actividades para la línea de transmisión dentro de la ETD/WBS serán las que hemos visto en la descripción de actividades críticas.

*Tabla 2*

*Definición de las Actividades*

<b>Actividad</b>
<b>LOGISTICA</b>
Clasificación de Torres
Transporte de Torres
<b>MONTAJE DE TORRES</b>
Pre-ensamblaje de Torres
Montaje de Torres
Revisión de Torres
<b>INSTALACIÓN DE CABLE</b>
Instalación de aisladores y poleas
Instalación de cordina
Tendido de conductor
Nivelado y grapado de conductor
Realización de cuellos y bajadas de OPGW

Así mismo se incluye la actividad de obras civiles la cual corresponde a otro contratista pero nos indicará cuando iniciar el pre-ensamblaje.

**2.2.2. Secuenciar las Actividades**

“Secuenciar las Actividades es el proceso que consiste en identificar y documentar las relaciones entre las actividades del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

Consiste en identificar las relaciones de dependencia entre las actividades. La secuencia debe ser lo más precisa posible, a fin de apoyar la elaboración de un cronograma realista y factible.

**Ejemplo:**

Después de la clasificación de estructuras, se llevará a cabo el transporte del material a los puntos.

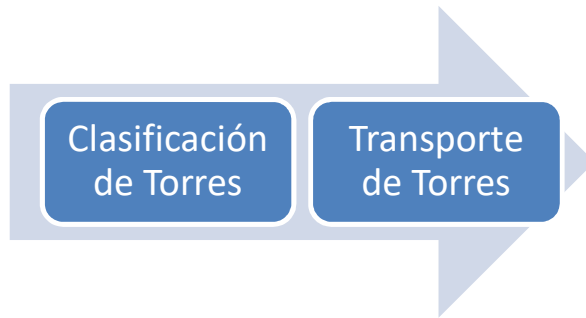


Figura 18. Secuencia de actividades parte 1 de 3.

Seguidamente se hará el pre ensamblado, luego el montaje y la revisión de las torres.

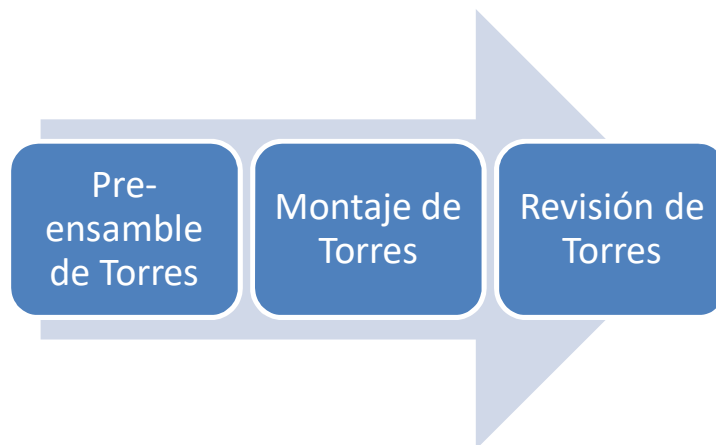


Figura 19. Secuencia de Actividades parte 2 de 3

Finalmente se hará la instalación de aisladores y poleas, la instalación de la coordina (cable guía), el tendido, el nivelado y grapado, la realización de cuellos y bajadas de fibra óptica

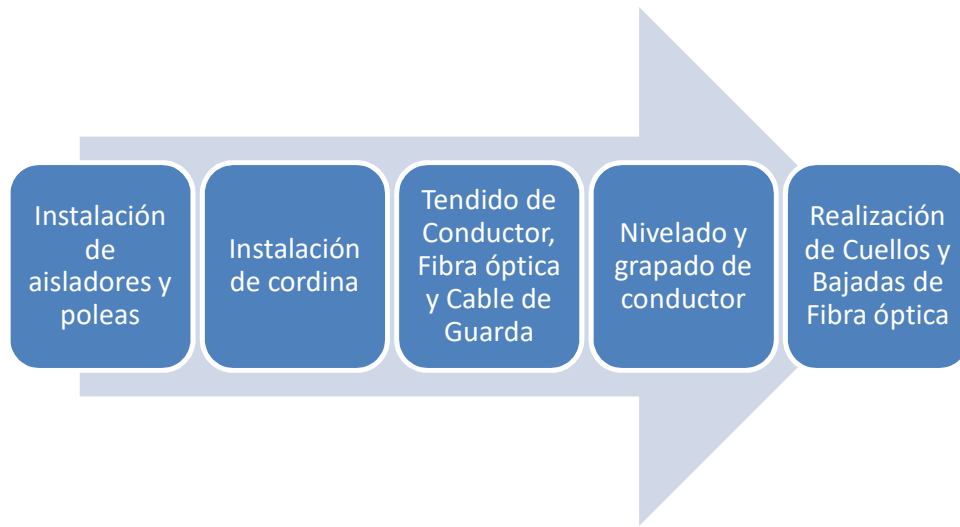


Figura 20. Secuencia de Actividades parte 3 de 3

Esta es la secuencia de las actividades del proyecto.

### 2.2.3. Estimar los recursos de las actividades

“Estimar los recursos de las actividades es el proceso de estimar tipo y cantidades de materiales, personas, equipos o suministros requeridos para llevar a cabo una de las actividades”. (Project Management Institute, 2013)

Cada actividad podrá tener recursos de mano de obra, equipos, herramientas, materiales y subcontratos, que son indispensables para que dicha actividad pueda realizarse.

#### **Ejemplo:**

Se estimará los recursos de la Mano de Obra o cuadrillas para cada partida crítica.

Se buscó que la cantidad de recursos no sea insuficiente o excesiva, para lo cual se recurrió al juicio experto

**Tabla 3**
**Estimación de Recursos de Mano de Obra**

Actividad	Cuadrillas				
	Capataz	Topógrafo	Operario	Audante	Total
<b>LOGISTICA</b>					
Clasificación de Torres	1		8	6	15
Transporte de Torres			3	2	5
<b>MONTAJE DE TORRES</b>					
Pre-ensamblaje de Torres	1		4	2	7
Montaje de Torres	1		8	6	15
Revisión de Torres			4	2	6
<b>INSTALACIÓN DE CABLE</b>					
Instalación de aisladores y poleas	1		6	2	9
Instalación de cordina	1		8	40	49
Tendido de conductor	2		16	6	24
Nivelado y grapado de conductor	1	2	18	9	30
Realización de cuellos y bajadas de OPGW	1		6	2	9

**2.2.4. Estimar la duración de las actividades**

“Estimar la duración de las actividades es el proceso de realizar una estimación de la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados” (Project Management Institute, 2013).

Consiste en la estimación del número de periodos de trabajo que serán necesarios para completar las actividades individuales. Esta estimación debe tomar en cuenta lo siguiente:

Las actividades previamente identificadas, así como el volumen de trabajo de las mismas (metrados), para los requerimientos de recursos humanos y materiales asignados a las actividades.

Los métodos constructivos seleccionados.

La velocidad de ejecución (capacidad, potencia, rendimiento, etc.) de los recursos seleccionados para la ejecución.

La cantidad de recursos disponibles.

La experiencia acumulada en la gestión de Proyectos anteriores (“know how” de la organización).

**Ejemplo:**

Como vemos en la tabla con un rendimiento de 2 torres clasificadas por día podemos estimar la duración de esta actividad en 61 días,

8.7 semanas o 2 meses. Lo mismo se hará para las de más actividades.

Tabla 4

Estimación de Duración de Actividades

Actividad	Unidad	Cantidad	Cantidad/día	Cantidad de Grupos	Producción		
					Días	Semanas	Meses
<b>LOGISTICA</b>							
Clasificación de Torres	Torres	367.0	2.0	3.0	61.0	8.7	2.0
Transporte de Torres	Torres	367.0	2.0	3.0	61.0	8.7	2.0
<b>MONTAJE DE TORRES</b>							
Pre-ensamblaje de Torres	Tn	3,445.3	6.5	5.0	106.0	15.1	3.5
Montaje de Torres	Tn	3,445.3	6.5	5.0	106.0	15.1	3.5
Revisión de Torres	Tn	3,445.3	12.0	3.0	96.0	13.7	3.2
<b>INSTALACIÓN DE CABLE</b>							
Instalación de aisladores y poleas	Torres	367.0	2.0	2.0	92.0	13.1	3.1
Instalación de cordina	km	118.1	0.67	2.0	89.0	12.7	3.0
Tendido de conductor	km	118.1	0.67	2.0	89.0	12.7	3.0
Nivelado y grapado de conductor	km	118.1	0.67	2.0	89.0	12.7	3.0
Realización de cuellos y bajadas de OPGW	Torres	367.0	2.0	2.0	92.0	13.1	3.1

### 2.2.5. Desarrollar el cronograma

“Desarrollar el cronograma es el proceso de analizar la secuencia de actividades, las duraciones, los requisitos de recursos y las restricciones del cronograma para crear el modelo de programación del proyecto” (Project Management Institute, 2013).

Se recomienda usar las siguientes 3 técnicas para desarrollar el cronograma:

**Método de la ruta crítica:** Es la secuencia de actividades que representa el camino más largo determina la menor duración. La ruta crítica se caracteriza porque su holgura total es cero.

**Método de la cadena crítica:** Es el método por el cual se agrega colchones (actividades que no requieren trabajo) para manejar la incertidumbre. Hay 2 tipos de colchones: el colchón de proyecto que protege la fecha fin y el colchón de alimentación en los puntos de alimentación a la cadena crítica para evitar retrasos por alimentación.

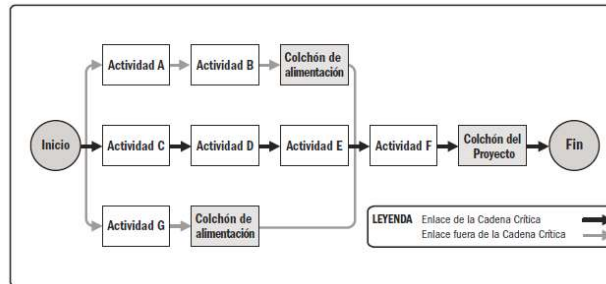


Figura 21. Método de la cadena crítica tomado del PMI

**Equilibrio de recursos:** Con este balance la cantidad de recursos no excede en ningún momento el máximo previsto.

Definidas las actividades del Proyecto, secuencia y relaciones de dependencia de las mismas, duración de las actividades y los recursos asociados a cada una de ellas se procede a la diagramación del cronograma mediante: Diagrama de Gantt, Curva Espacio Tiempo (Curva Marshall), Pert CPM (Ruta Crítica), Tren de Actividades, etc.

La cantidad de niveles que se determine en la EDT determinará el nivel de complejidad del proyecto. El cronograma debe permitir, hasta el nivel que se haya definido estructurar las actividades, identificar la utilización de los recursos a lo largo de la ejecución del Proyecto.

En la elaboración del cronograma es importante la determinación del calendario del Proyecto, es decir la definición de las horas y días “útiles” para la ejecución del Proyecto (tener en cuenta los días feriados y otros días no laborables).

**Ejemplo:**

Aplicando las técnicas antes vistas la idea era tener la alternativa óptima en plazo y costos (optimizar recursos).

Se tenía 173 torres en el tramo 1, 114 torres en el tramo 2 y 80 torres en el tramo 3. Nuestra ruta crítica estaba en el tramo 2 y



generamos actividades colchón al final de esta (revisión de torres). Consideramos 5 cuadrillas las que nunca deberían tener tiempos de parada, estas 5 cuadrillas siempre mantienen un equilibrio.

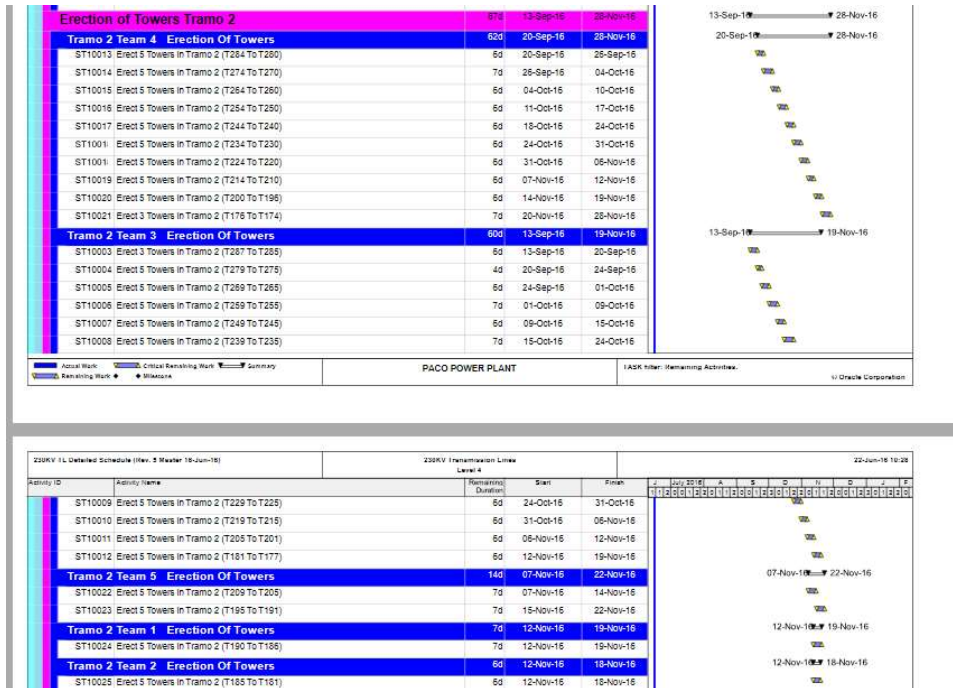
**Tabla 5**  
**Cronograma de la Línea de Transmisión en Excel**

	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20	semana 21	semana 22	semana 23	
<b>MONTAJE DE TORRES</b>																								
Tamaño 1	Montaje de Torres - Cuadrilla 1			T-1	T-11	T-12	T-13	T-23	T-33	T-43	T-53	T-14	T-15	T-16	T-17	T-18	T-19	T-24	T-25	T-26	T-27	T-28	T-29	T-34
	Montaje de Torres - Cuadrilla 2			T-6	T-12	T-18	T-23	T-33	T-43	T-53	T-63	T-73	T-83	T-93	T-103	T-113	T-123	T-133	T-143	T-153	T-163	T-173	T-183	T-193
	Montaje de Torres - Cuadrilla 3																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 4																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 5																							
Tamaño 2	Montaje de Torres - Cuadrilla 1																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 2																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 3																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 4																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 5																							
Tamaño 3	Montaje de Torres - Cuadrilla 1																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 2																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 3																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 4																							
	Montaje de Torres - Cuadrilla 5																							

El mismo cronograma lo podemos plasmar en el Primavera P6. Para ello definimos el calendario del proyecto el que considerará todos los días laborables 10 horas.

Tabla 6

Cronograma de la Línea de Transmisión en Primavera P6



Una vez concluida la elaboración del cronograma, el jefe de Control de Proyectos emite el documento al Gerente de Proyecto para su revisión y aprobación.

Es importante que este proceso se realice adecuadamente porque de no haber un cronograma realista esto será fuente de muchas pérdidas que generarán atrasos de obra.

2.3. Planificar la Gestión de Costos

“Planificar la Gestión de Costos es el proceso que establece las políticas, los procedimientos y la documentación necesarios para planificar, gestionar, ejecutar el gasto y controlar los costos del proyecto” (Project Management Institute, 2013).

No planificar la gestión de costos puede llevar a que se tenga una cantidad excesiva de recursos, lo cuál sería fuente de pérdidas económicas. El flujo de la gestión de costos es el siguiente:

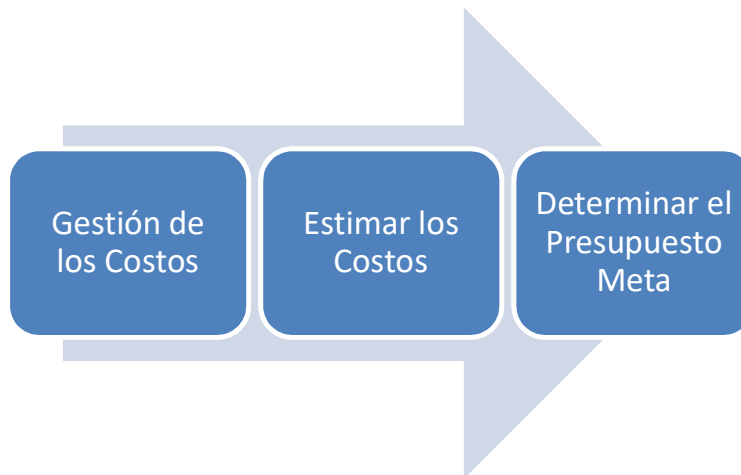


Figura 22. Proceso de Planificación de Costos

### 2.3.1. Estimar los Costos y Determinar el Presupuesto Meta

“Estimar los Costos es el proceso que consiste en desarrollar una estimación aproximada de los recursos monetarios para completar las actividades de un proyecto”. Determinar el Presupuesto es el proceso que consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo de cara a establecer una línea base de costos autorizada”. (Project Management Institute, 2013)

El Presupuesto Meta es el documento en el cual queda plasmado el resultado del Planeamiento en lo referente a costos. Se elabora tomando como base el Presupuesto original entregado por el área de Presupuestos y revisado durante el proceso de transferencia. Las consideraciones asumidas inicialmente y el planeamiento diseñado durante la etapa de licitación son actualizados a través del análisis de las condiciones reales encontradas en el Proyecto. El análisis debe incluir una estimación económica de los riesgos y oportunidades asumidos por el Proyecto, de modo que se tenga la mejor proyección del resultado posible en el momento de la elaboración del Presupuesto Meta.

Para elaborar este presupuesto meta podemos aplicar las siguientes técnicas:

**Juicio de Expertos.** Aporta información de proyectos similares realizados con anterioridad.

**Estimación Análoga.** Utiliza el costo real de proyectos similares como base para estimar el costo del proyecto actual.

**Estimación Paramétrica.** Relación estadística entre los datos históricos relevantes y otras variables (ejemplo m<sup>2</sup> en construcción) para estimar un proyecto.

**Estimación por 3 valores.** Con esta técnica se tiene en cuenta la incertidumbre y el riesgo:

- **Más probable (cM).** El costo de la actividad se estima sobre la base de una estimación realista.
- **Optimista (cO).** El costo de la actividad se estima con el mejor escenario.
- **Pesimista (cP).** El costo de la actividad se estima con el peor escenario.

Luego se puede calcular el costo esperado cE, mediante el uso de la fórmula:

$$cE = (cO + cM + cP)/3$$

**Análisis de Reservas.** Las estimaciones de costos pueden incluir reservas (provisiones para contingencias), para tener en cuenta la incertidumbre en la estimación de costos. A medida que avanza el proyecto el proyecto, las reservas pueden utilizarse, eliminarse o reducirse.

#### **Ejemplo:**

Los costos de los recursos de mano de obra, equipos, materiales, subcontratos y costos indirectos son estimados de la siguiente forma:

#### **Estimar los costos de Mano de Obra:**

- a. Enunciar las cuadrillas típicas para cada actividad, para las actividades de línea de transmisión estarán conformadas por capataz, operarios, topógrafos y ayudantes.

- b. Las cuadrillas tendrán un rendimiento de cuánto producen por día, ejemplo: toneladas de estructura montadas por día, kilómetros de cable tendido por día, etc
- c. En base a las cuadrillas típicas y los rendimientos podemos hallar la cantidad de horas que tendremos por unidad (ratios), ejemplo horas hombre (hh) por tonelada, horas hombre por km., etc. Una vez se tengan los ratios podemos multiplicarlo por las cantidad para así tener cuantas horas nos tomará una actividad, ejemplo: horas hombre por torre, horas hombre por tramo de línea.
- d. Tarifas de mano de obra: se calculan en base a las remuneraciones básicas, las leyes sociales, las bonificaciones y las horas extras. También podemos incluir otros costos asociados a la mano de obra: implementos de seguridad, alojamiento y alimentación, transporte a obra e interno, examen médico, costo de planilla y charlas de seguridad.
- e. Si multiplicamos las horas hombre por las tarifas se puede calcular lo que nos cuesta realizar una actividad, un proyecto como mano de obra.
- f. Debido a que no vamos a gastar todas las horas hombre en un momento, necesitamos cruzar este cálculo con el cronograma y con ello sacaremos un histograma de mano de obra como se muestra a continuación:

**Tabla 7**
**Estimación de Costos de la Mano de Obra**

			16/10/2016	23/10/2016	30/10/2016	06/11/2016
			22/10/2016	29/10/2016	05/11/2016	12/11/2016
	UNID	TARIFA				
<b>MANO DE OBRA</b>			374	384	379	377
<b>Tramo I</b>			<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>
Capataz	hora	8	10	10	10	10
Topógrafo	hora	7	1	1	1	1
Operario	hora	5	75	75	75	75
Ayudante	hora	4	74	74	74	74
<b>Tramo II</b>			<b>126</b>	<b>126</b>	<b>123</b>	<b>121</b>
Capataz	hora	8	7	7	6	6
Topógrafo	hora	7	1	1	2	2
Operario	hora	5	55	55	55	54
Ayudante	hora	4	63	63	60	59
<b>Tramo III</b>			<b>88</b>	<b>98</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
Capataz	hora	8	4	5	5	5
Topógrafo	hora	7	0	1	1	1
Operario	hora	5	36	39	38	38
Ayudante	hora	4	48	53	52	52

**Estimar los costos de los equipos y herramientas**

- a. Lo primero que se hará para estimar los costos de equipos y herramientas es de acuerdo al cronograma sacar el histograma considerando los que usaremos por cada actividad, por ejemplo:

**Actividad de clasificación de torres:** Montacarga de 10 toneladas.

Actividad de transporte de torres: Camión Grúa de 16 toneladas.

**Montaje de torres:** Pluma de montaje de 20 metros, winche de montaje de 30kN, polea de servicio de 1.5 toneladas, tecla de arrastre de 3 toneladas, tecla ratchet de 6 toneladas, cable de acero antigiratorio de 16mm.

**Revisión de torres:** Torquímetros y herramientas.

**Instalación de aisladores y poleas:** Poleas de Aleación de aluminio para conductor 1100MCM, poleas de aleación de aluminio para OPGW 14 mm y poleas de aleación de aluminio para cable de guarda.

**Tendido de conductor:** Winches de tendido de 70kN y 30kN, frenos de tendido de 70kN y 30kN, alzabobina hidráulico y tipo cuna, Comealong (mordaza /rana) AAAC- 30mm diámetro, Calcetines Punteras 1024MCM - 30 mm diámetro, etc.

**Nivelado de Conductor:** Escalera de anclaje, escalera de suspensión, compresora Hidráulica.

- b. Para calcular las tarifas de equipos se tendrá que cotizar el precio de alquiler o compras, sumarle el consumo de combustible y si se dese se puede incluir el costo de los operadores.

*Tabla 8*

*Estimación de Costos de Equipos y Herramientas*

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UNID	TARIFA	16/10/2016	23/10/2016	30/10/2016	06/11/2016
			22/10/2016	29/10/2016	05/11/2016	12/11/2016
Teclé de Arrastre de 3 Tn (Tirfor	dia	5	20	20	20	20
Teclé de Arrastre de 6 Tn (Tirfor	dia	0	24	24	24	24
Teclé Ratchet de 6 Tn	dia	0	30	30	30	30
Comealong (mordaza /rana) AA	dia	1	65	65	65	65
Comealong (mordaza /rana) OP	dia	8	30	30	30	30
Comealong (mordaza /rana) Cal	dia	3	30	30	30	30
Cable de Acero Antigiaratorio d	dia	14	25	25	25	25
Cable de Acero Antigiaratorio d	dia	14	50	50	50	50
Cable de Acero Antigiaratorio d	dia	19	80	80	80	80
Winche de Tendido de 70 kN	dia	335	1	1	1	1
Freno de Tendido de 70 kN	dia	335	1	1	1	1
Winche de Tendido de 30 kN	dia	83	1	1	1	1
Freno de Tendido de 30 kN	dia	52	1	1	1	1
Alzabobina Hidráulico	dia	12	4	4	4	4
Alzabobina tipo cuna	dia	6	10	10	10	10
Polea de Aleac. Aluminio de Cor	dia	3	330	330	330	330
Polea de Aleac. Aluminio para						
OPGW 14 mm de diámetro	dia	2	50	50	50	50
Polea para Cable de Guarda	dia	2	50	50	50	50

**Estimar los costos de materiales:**

- a. Para nuestro caso todos los materiales los ponía el cliente pero de ser el caso tendríamos que cotizar en base a las cantidades que entregue la ingeniería.
- b. Una vez recibidas las cotizaciones se tiene que hacer cuadros comparativos con el fin de seleccionar la mejor oferta técnica y económica.

**Estimar los costos de Subcontratos:**

- a. Identificar posibles subcontratos: la prueba OTDR de la fibra óptica en bobina y el empalme de ésta una vez tendida.
- b. Cotizar con posibles subcontratistas y escoger la mejor alternativa técnica y económica. Tener cuidado en leer las calificaciones y consideraciones a la oferta.

**Estimar los costos indirectos:**

- a. Para estimar los costos indirectos la idea es agrupar los costos en: personal indirecto de obra, sistemas y comunicaciones, gastos de personal, equipos y vehículos de apoyo, gastos de operación, alojamiento y alimentación, infraestructura de operación, control de calidad y prevención de riesgos.
- b. Personal indirecto de Obra (es todo personal que no es mano de obra directa).

Dirección

- Superintendente de Construcción
- 3 Ingenieros de campo
- 3 Supervisores

Control y Proyectos

- Jefe de Control de Proyectos
- Ingeniero de Planeamiento
- Asistente de Costos y Planeamiento

Seguridad Ocupacional y Medio Ambiente

- Supervisor de Seguridad
- 2 Monitores de Seguridad

Mantenimiento de Equipos

- Supervisor de Mantenimiento
- 2 Mecánicos

Almacén y Logística

- Supervisor de Almacén y Logística
- 2 Asistentes de Almacén y Logística
- Ayudantes de Almacén

Aseguramiento y Control de la Calidad

- Supervisor de QA/QC



- Técnico de Calidad

Recursos Humanos

- 1 planillero
- 1 Tramitador de migraciones

Operadores de Equipos

- Operadores de equipo pesado
- Conductores

c. Sistemas y comunicaciones, los cuáles serán:

- Equipos Informaticos: computadoras e impresoras
- Equipos de Comunicación: Radios y teléfonos celulares

d. Gastos de Personal, los cuáles serán:

- Gastos Médicos
- Trámites en migraciones y permisos de trabajo.

e. Equipos y Vehículos de apoyo, los cuáles serán:

- Camionetas
- Buses para transporte de personal

f. Gastos de operación, los cuáles serán:

- Transporte de personal
- Transporte de material
- Movilización y desmovilización
- Gastos de oficina: útiles de oficina, vigilancia y limpieza.

g. Alojamiento y alimentación.

h. Infraestructura de operación, los cuáles serán:

- Oficina
- Almacén
- Taller de equipos
- Baños químicos

i. Control de calidad.

j. Prevención de riesgos, los cuáles serán:

- Seguridad y primeros auxilios
- Equipos de protección personal
- Charlas de Inducción

Con esto se tiene el Presupuesto Meta que se remite y expone ante la Gerencia para su aprobación.

El cumplimiento de este presupuesto meta asegura un uso eficiente de los recursos, no hacerlo es una fuente de pérdidas.

### 3. EJECUCIÓN

En esta etapa se ejecuta el plan y también se reúne datos de pérdidas y se documenta. También se inicia a ejecutar el Kaizen, separando, organizando, limpiando, estandarizando y con mucha autodisciplina.

#### 3.1. Dirigir y Gestionar el trabajo

“Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto es el proceso de liderar y llevar a cabo el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto e implementar los cambios aprobados para alcanzar los objetivos del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

Una de las pérdidas que identifica Lean Construction a la hora de dirigir y gestionar el trabajo es la **sobre producción**, la cual no será reconocida por el cliente. No se puede ser productivo si se genera más de lo que da valor al cliente.

Ejemplo:

En el tramo 2 había un gran avance de pre ensamblaje, pero no de montaje. Es decir se estaba produciendo más de lo inmediatamente requerido.

Esta es una de las 8 pérdidas que se deben identificar:

- a) Transporte: Mover gente, productos e información
- b) Inventario: Inventario de partes, piezas y documentos antes de que requerido
- c) Movimiento: Caminar, alcanzar, subir, doblarse, voltearse
- d) Espera: Espera de partes, información, instrucciones o máquina
- e) Sobre producción: Fabricar más de lo que inmediatamente es requerido

- f) Procesamiento inadecuado: Tolerancias inadecuadas, herramientas complejas, procesos como inspección, preparación, conteo, desempaque, etc.
- g) Defectos: Retrabajos, piezas defectuosas, documentos incorrectos
- h) Talento no aprovechado: Capacidad y habilidad no utilizada, delegar tareas con entrenamiento inadecuado.

Para evitar estas pérdidas se debe desarrollar la gestión del equipo humano del proyecto, de las comunicaciones y de las adquisiciones:

### 3.2. Adquirir, Desarrollar y Dirigir el equipo del proyecto

“Adquirir el equipo del proyecto es el proceso de confirmar la disponibilidad de recursos humanos y obtener el equipo necesario para completar las actividades del proyecto. Desarrollar el equipo del proyecto es el proceso de mejorar las competencias, la interacción entre los miembros y el entorno general del equipo para logra un mejor desempeño del proyecto. Dirigir el equipo del proyecto es el proceso de seguimiento de desempeño de los miembros del equipo, proporcionar retroalimentación, resolver problemas y gestionar los cambios en el equipo con el fin de optimizar el desempeño del proyecto” (Project Management Institute, 2013). El diagrama de flujo será el siguiente:

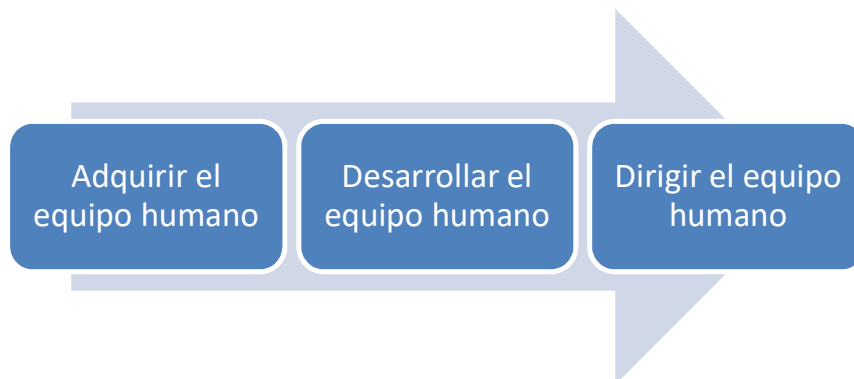


Figura 23. Proceso de Gestión del Equipo Humano del Proyecto.

Una de las pérdidas que identifica Lean Construction es desaprovechar las capacidades del personal, es decir el personal realiza actividades de menor calificación. Otra más importante es desaprovechar la motivación del personal es

decir el personal pierde la motivación inicial porque no se le entregan las herramientas, oportunidades necesarias o incentivos.

Por ello se debe aplicar el Principio rector 4 del Kayzen: el enfoque en las personas que consiste en utilizar el talento de las personas para generar y acumular pequeñas mejoras incrementales y graduales a lo largo del tiempo.

Ejemplo:

El proyecto tenía operarios nivelando los vientos de la pluma (uso de herramienta teclé en el montaje de la torre), cuando se podría utilizar para esa labor ayudantes, pero estos no estaban capacitados.

### 3.3. Gestionar las comunicaciones

“Gestionar las comunicaciones es el proceso de crear, recopilar, distribuir, almacenar, recuperar y realizar la disposición final de la información del proyecto de acuerdo con el plan de gestión de comunicaciones”. (Project Management Institute, 2013)

Una de las pérdidas que indica Lean Construction son los tiempos de **espera** debido a que al personal no se le ha indicado o no ha entendido qué es lo que debe hacer o cómo debe hacerlo.

Ejemplo: Debido a la distancia entre los frentes de trabajo y la falta de comunicación, en muchas ocasiones se llegaba al punto de trabajo y el personal estaba haciendo algo que no se había planificado, por lo que había un problema de comunicación que originaba pérdidas.

### 3.4. Efectuar las Adquisiciones

“Efectuar las Adquisiciones es el proceso de obtener respuestas de los vendedores, seleccionarlos y adjudicarles un contrato”. (Project Management Institute, 2013)

Una de las pérdidas que indica Lean Construction son los tiempos de espera por la llegada de materiales, herramientas o equipos, el personal no puede trabajar porque no tiene los recursos. Pero cuidado porque otras pérdidas podrían ser tener un inventario grande de materiales o equipos sobredimensionados.

Ejemplo: Como se tenían 3 frentes cada responsable pedía sus materiales, pero no había el cruce de lo que ya había en almacén por lo que se estaba generando más inventario.

#### 4. MONITOREO

El tercer paso del Ciclo de Deming es el monitoreo constante, el cual se puede ver en el siguiente esquema:

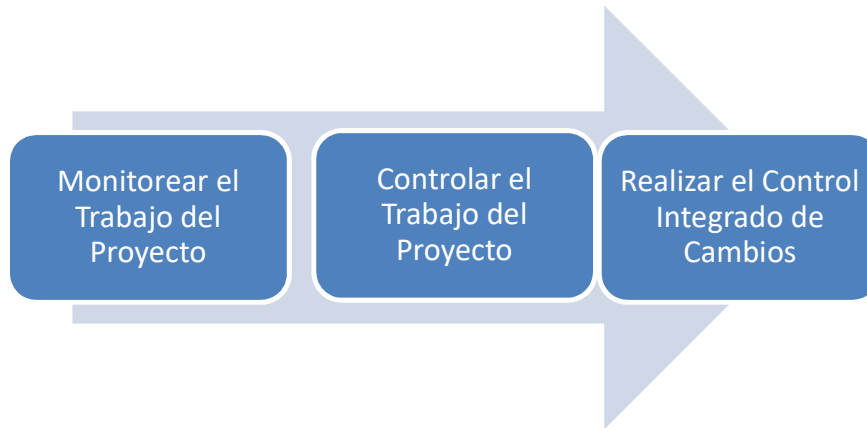


Figura 24. Esquema de Monitoreo y Control de Proyectos

Monitorear el trabajo del proyecto consiste en monitorear la productividad, está puede considerarse como el monitoreo del alcance, avance y costos.

##### 4.1. Monitorear la Productividad

Se monitoreará la productividad a través del Informe de Productividad, donde se compara el índice de productividad real con el índice previsto en el Presupuesto Meta.

El índice de productividad es la relación entre la cantidad de productos obtenida y los recursos utilizados.

Para nuestro sistema de gestión se ha definido:

$$IP = \frac{\textit{avance}}{\textit{Costo (MO, EQU, MAT, SUBC)}}$$

Donde:

IP: Índice de Productividad

Avance: expresado en torres, ton, km, etc

Costo (MO, EQU, MAT, SUBC): Costo de la mano de obra, equipos, materiales y/o subcontratos.

Ejemplo: Si una torre nos cuesta 20 mil dólares, podríamos expresar un índice de productividad como: 1 torre/ 20 mil dólares.

También se puede definir la productividad solo para un rubro, en el caso de las Mano de Obra se puede usar el consumo de HH, que es la cantidad total de horas hombre de la cuadrilla que realiza la actividad en el mismo período de los avances reales, ejemplo: 3 torres/1050 horas hombre semanales y en el caso de los equipos, se usa el costo, ejemplo: 1 torre/ 7 mil dólares.

#### **Índice de Productividad Meta:**

Eficiencia Prevista para la ejecución de las cantidades. Puede ser tomada del Presupuesto Meta o más adelante de los índices que se obtengan al aplicar un carta balance (qué se verá mas adelante).

Una cuadrilla de montaje tiene 150 horas hombre diarias, 1050 horas hombre semanales. El avance previsto era de 5 torres por semana.

IP MO Meta =Avance semanal/Horas Hombre Semanal

IP MO Meta =5 torres/1050 horas hombre

Según el informe de productividad habría una brecha negativa ya que:

IP MO real < IP MO Meta

3torres/1050 horas hombre < 5 torres/1050 horas hombre

Los ratios meta, que son la inversa de los índices de productividad meta, nos pueden dar las horas ganadas, de las cuales se puede llevar un control semanal como se observa en el siguiente cuadro:

**Tabla 9**
**Ratios Meta y Ratios Reales semanales**

Año	Año 2017	Año 2017	Año 2017
Semana	Sem 37	Sem 38	Sem 39
HH Sem previstas	570.22	57.68	26.04
HH Sem reales	2,777.00	87.00	12.50
Avance Sem	2,036.50	206.00	93.00
HH Acum previstas	570.22	627.90	653.94
HH Acum reales	2,777.00	2,864.00	2,876.50
Avance Acum	2,036.50	2,242.50	2,335.50
Ratio Reales Semanal	1.3636	0.4223	0.1344
Ratio Acumulado	1.3636	1.2771	1.2316
Ratio Meta	0.2800	0.2800	0.2800
HH Gan/Per Sem	-2,206.78	-29.32	13.54
HH Gan/Per a la fecha	-2,206.78	-2,236.10	-2,222.56

**Índice de Productividad de los Equipos (IP)**

Mide la eficiencia de un pull de equipos para realizar una determinada cantidad de avance.

Por ejemplo kilómetros de línea de transmisión por dólares consumidos.

IP EQ Meta = Avance semanal / Costo pull de equipos

IP EQ Meta = 5km / 25 mil dólares.

Según el informe de productividad habría una brecha negativa ya que:

IP EQ real < IP EQ Meta

1 torre / 7 mil dólares < 1 torre / 5 mil dólares

Finalmente, el Informe de Productividad compara los índices de productividad reales con los previstos, pero no nos indicará si la brecha es porque no se está avanzando, o porque los costos de los recursos son elevados. para aumentar la productividad se debe monitorear el avance (siendo este solo lo que nos permite cumplir con el alcance) y monitorear los costos.

#### 4.1.1. Monitorear el Alcance

Después de realizar la recopilación de requisitos. Las actividades planificadas las relacionaremos con los requisitos.

Si la actividad se relaciona con el requisito pondremos un 1 y se colocará en verde.

Si la actividad no se relaciona con un requisito pondremos un 0 y se colocará en rojo.

Esto permite que el área de producción conozca el alcance e identifique los adicionales.

Ejemplo: En la línea de transmisión no estaba considerada la revisión topográfica de las fundaciones era responsabilidad de la Mina, pero al inicio se hizo sin cobrar nada, luego se gestionó un adicional, obviamente el cliente lo reconoció a partir de ese momento.

#### 4.1.2. Monitorear el Avance

Para monitorear el avance se usará el siguiente índice de la metodología del valor ganado.

**Índice del desempeño del cronograma (SPI):**

$$SPI = EV/PV$$

Debe ser mayor o igual que 1 para que el proyecto esté en verde.

Debe estar entre 0.85 a 1 para que el proyecto esté en amarillo.

Debe ser menor que 0.85 para que el proyecto ese en rojo.

Otro indicador que se puede usar es el factor de performance:

$$SPI(hh) = \frac{\text{horas ganadas}}{\text{horas planificadas}}$$

Ejemplo: Se planificó montar 5 torres en la semana pero se montaron solo 3 torres.



$$SPI(hh) = \frac{3 * 1050 \text{ horas}}{5 * 1050 \text{ horas}}$$

$$SPI(hh) = 0.6$$

Lo que muestra que el proyecto se atrasó en esa semana.

### **Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)**

Otra forma de monitorear el avance será a través del porcentaje de plan cumplido.

$$PPC = \text{ejecutadas} / \text{programadas}$$

Debe ser mayor a 90% para que el proyecto esté en verde.

Debe estar entre 85% y 90% para que el proyecto esté en amarillo

Debe ser menor que 85% para que el proyecto esté en rojo

Ejemplo: De 11 actividades que se programó se cumplieron 7.

$$PPC = 7/11$$

$$PPC = 63.63\%$$

Lo que indica que se deben tomar decisiones, en las 4 actividades que dejaron de cumplirse.

#### **4.1.3. Monitorear el Costo**

Para monitorear el costo se usará el siguiente índice de la metodología del valor ganado.

#### **Índice del desempeño del costo (CPI):**

$$CPI = EV/AC$$

Debe ser mayor o igual que 1 para que el proyecto esté en verde.

Debe estar entre 0.85 a 1 para que el proyecto esté en amarillo.

Debe ser menor que 0.85 para que el proyecto ese en rojo.

Ejemplo:

Calculo del Valor Planificado (PV)

Se toma del presupuesto meta de la mano de obra.

Tabla 10

Valor Planificado hasta el mes 2

TRAMO	mes 1	mes 2
Tramo 1	13,798	300,914
Tramo 2	13,798	267,379
Tramo 3	27,595	177,468
Planificado	<b>55,191</b>	<b>745,762</b>
Acum Planificado	<b>55,191</b>	<b>800,952</b>

Calculo del Valor Ganado (EV)

Se coloca el avance porcentual por tramo:

Tabla 11

Avance porcentual hasta el mes 2

TRAMO	mes 1	mes 2
Tramo 1		11%
Tramo 2		14%
Tramo 3		12%

Se multiplica el valor planificado por el avance porcentual.

Tabla 12

Valor Ganado hasta el mes 2

TRAMO	mes 1	mes 2
Tramo 1	0	266,070
Tramo 2	0	243,205
Tramo 3	0	157,023
Valor Ganado	<b>0</b>	<b>666,298</b>
Acum Valor Ganado	<b>0</b>	<b>666,298</b>

Calculo del costo Real (AC)

Se coloca mes a mes el costo incurrido:

**Tabla 13**

*Costo Real hasta el mes 2*

TRAMO	mes 1	mes 2
Tramo 1		292,677
Tramo 2		267,526
Tramo 3	60,565	172,725
Costo Real	60,565	732,928
Acum Costo Real	60,565	793,493

Con estos 3 datos se puede dibujar la curva de valor ganado.



**Figura 25.** Gráfico del Valor Ganado

En esta curva se puede ver que el proyecto esta atrasado en cronograma ya que el valor ganado está por encima del valor planificado, y está excediéndose en los costos ya que el valor ganado está por encima del costo real.

También se puede hallar los índices de desempeño.

**Tabla 14**

*Índices de Desempeño*

	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Índice de Desempeño de Cronograma (SPI)	0.00	0.83				
Índice de Desempeño de Cronograma (CPI)	0.00	0.84				

Al ser ambos indicadores menores que 0.85 el proyecto estaba en rojo, por lo que se tenían que tomar medidas para controlar el costo de los meses 5 y 6.

Otro indicador que se puede usar es el factor de performance:

$$CPI(hh) = \frac{\text{horas ganadas}}{\text{horas gastadas}}$$

Ejemplo: Si montamos una torre, entonces tendremos 1050 horas ganadas, pero si gastamos 1400 horas el CPI será:

$$CPI(hh) = \frac{1050}{1400}$$

$$CPI(hh) = 0.75$$

Al ser menor que 1 el proyecto estaba en rojo en mano de obra y se tenían que tomar medidas.

Por estos motivos en el mes 2 se hizo un análisis de brechas.

### **Análisis de Brechas:**

Es la diferencia entre el presupuesto meta y lo que realmente se gastó, se recomienda hacerlo a fin de mes.

Se clasifican en mano de obra, materiales, equipos, subcontratos y gastos generales.

Debe ser mayor o igual que 0 para que el proyecto esté en verde.

Debe ser menor que 0 para que el proyecto esté en rojo.

Tenemos que identificar las pérdidas más incidentes.

Ejemplo:

En el proyecto se tenían las siguientes brechas:

Brechas de Mano de obra:

$$Brecha(MO) = 266,519 - 293,171$$

$$Brecha(MO) = -26,652$$

$$Brecha(EQ) = 166,575 - 183,232$$

$$Brecha(EQ) = -16,657$$

$$Brecha(MAT) = 66,630 - 73,293$$

$$Brecha(MAT) = -6,663$$

$$Brecha(SUBC) = 33,315 - 36,646$$

$$Brecha(SUBC) = -3,331$$

$$Brecha(GG) = 133,260 - 158,699$$

$$Brecha(GG) = -25,439$$

Por lo que el proyecto estaba en rojo en todos los rubros y se tenían que tomar medidas.

## 5. CONTROLAR EL TRABAJO DEL PROYECTO

“Monitorear y Controlar el trabajo del proyecto es el proceso de dar seguimiento, revisar e informar el avance a fin de cumplir con los objetivos de desempeño definidos en el plan para la dirección del proyecto”. (Project Management Institute, 2013)

El cuarto paso del Círculo de Deming es controlar dando recomendaciones, para ello se usará el principio rector 5 del Kaysen que dice que la mejora continua del trabajo diario es la búsqueda y eliminación de las actividades que no agregan valor a los procesos de trabajo y generan desperdicios. Para ello lo primero que se tiene que hacer es identificar las causas de las pérdidas encontradas en la ejecución, mediante 2 técnicas:

### 5 POR QUÉ

Es una herramienta que permite controlar la causa raíz de un problema lineal y que consiste en preguntar 5 veces por qué ocurre este problema, con el objetivo de resolver su causa última, como se vio en el marco teórico.

## MÉTODO ISHIKAWA O CAUSA/EFECTO

Es una herramienta que permite establecer la relación entre el problema (efecto) y sus causas probables, como se vio en el marco teórico.

### 5.1. CONTROLAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROYECTO

Controlar la productividad es identificar y aprovechar todas las oportunidades de mejora que se puedan presentar. Por ejemplo, ante resultados negativos de los Informes de Productividad), se planteará un estudio de productividad de una actividad determinada.

A continuación, se exponen los pasos a seguir para elaborar un estudio de productividad:

- a. Realizar un seguimiento en campo del proceso constructivo, recogiendo algunos datos como:
  - La secuencia real que sigue el proceso constructivo en análisis (no aquella que se piensa que se está siguiendo). Ejemplo: Para líneas de transmisión se detalló en la parte de análisis de partidas críticas.
  - Layout de distribución del personal y los equipos.
  - Tiempos de espera del personal obrero.
  - Recoger opiniones y sugerencias del personal obrero respecto de las causas que producen tiempos de espera.
  - Grado de utilización de los equipos en porcentaje de utilización.
  - Principales problemas que paralizaron los trabajos.
  
- b. Luego de haber examinado la operación en campo, se debe proponer hacer un análisis más formal de los problemas detectados mediante un Estudio de Tiempos o Estudio del Trabajo, que se explica a continuación. Con este análisis se podrá cuantificar la magnitud de las pérdidas y de las oportunidades.

Una forma de controlar la productividad del proyecto es a través de la metodología de carta balance, la cual tiene los siguientes pasos:

- Observar y entender la actividad, ejemplo: montaje de torres.
- Identificar a cada uno de los integrantes de la cuadrilla:

1 capataz  
10 operarios  
4 ayudantes

- Identificar los trabajos que componen las diferentes categorías (Trabajos Productivos, Trabajos Contributorios y Trabajos No Contributorios) y asignarle una abreviatura.

### **Trabajo Productivo**

**Colocar los cáncamos y manejar los vientos:** Se colocan los cáncamos que fijarán las cuerdas que soportan la pluma y se va moviendo la dirección de la pluma.

**Levantar la pluma:** Con ayuda de los tecles tipo tirfor se endereza la pluma.

**Arrancar el winche y colocar las poleas:** Es colocar todos los elementos de izaje.

**Armar la torre:** Son trabajos en altura donde se ensambla la torre

**Enviar las estructuras:** Se envían las estructuras al personal que está en altura.

### **Trabajo Contributivo (TC)**

**Carga, Traslado y descarga de equipos y herramientas (T):** el personal descarga el winche, la pluma, las cadenas.

**Orden y Limpieza (L):** El personal acondiciona el lugar para los trabajos (coloca la carpa, ordena las herramientas, etc) y una vez terminado los trabajos para tener el mínimo impacto ambiental.

**Instrucciones (I):** El capataz da las instrucciones al plumero (aquel que se trasladara por la pluma), y a los otros 4 que subirán uno en cada cara, al winchero, a las 2 personas que enviarán la estructuras, a las 2 personas que verán los vientos y a los 6 ayudantes.

**Mediciones (M):** Se hacen mediciones para determinar dónde irán los 4 cáncamos.

**Otros TC(X):** El personal se toma 20 a 30 minutos en una charla de seguridad.

**Trabajo No Contributorio (TNC)**

**Viajes (V):** Demoras en llegar por el mal estado de los accesos.

**Tiempo Ocioso (N):** Personal que no está haciendo nada.

**Espera (E):** Espera por instrucciones, por lluvias, etc.

**Trabajo Rehecho (R):** Cuando el pre ensamblaje no es correcto se tiene que volver a pre ensamblar.

**Descanso (D):** Terminado el montaje el personal se toma un descanso

**Necesidades Fisiológicas (B):** almuerzo, ir al baño, etc

**Otros TNC(Y):** podría ser dañar una propiedad y tener que arreglarla.

- Registrar en el formato de carta balance, minuto a minuto, las actividades de cada uno de los integrantes de la cuadrilla.

Tabla 15

Carta Balance del Montaje de Torres

	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8	Op9	Op10	OBSERVACIONES
1	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
2	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
3	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
4	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
5	W	P	A	A	A	A	TC	TC	C	TNC	
6	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
7	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
8	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
9	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
10	W	P	A	A	A	A	TC	T	TNC	C	
11	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
12	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
13	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
14	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
15	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
16	W	P	A	A	A	A	TC	T	TNC	C	
17	W	P	A	A	A	A	T	T	C	TNC	
18	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
19	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
20	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	
21	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	
22	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
23	W	P	A	A	A	A	TC	T	TNC	C	
24	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
25	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
26	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
27	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
28	W	P	A	A	A	A	T	TC	TNC	C	
29	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
30	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
31	W	P	A	A	A	A	TC	T	C	TNC	
32	W	P	A	A	A	A	T	TC	C	TNC	
33	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
34	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
35	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
36	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	
37	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	
38	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	
39	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	
40	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	TNC	

**Clasificación del Trabajo:**

- TC Trabajo No contributorio
- NP No esta presente
- TNC Trabajo contributorio

**Trabajo Productivo:**

- C Concamos
- P Pluma
- W Winche
- A Trabajos en Altura
- T Pasar
- .....
- .....



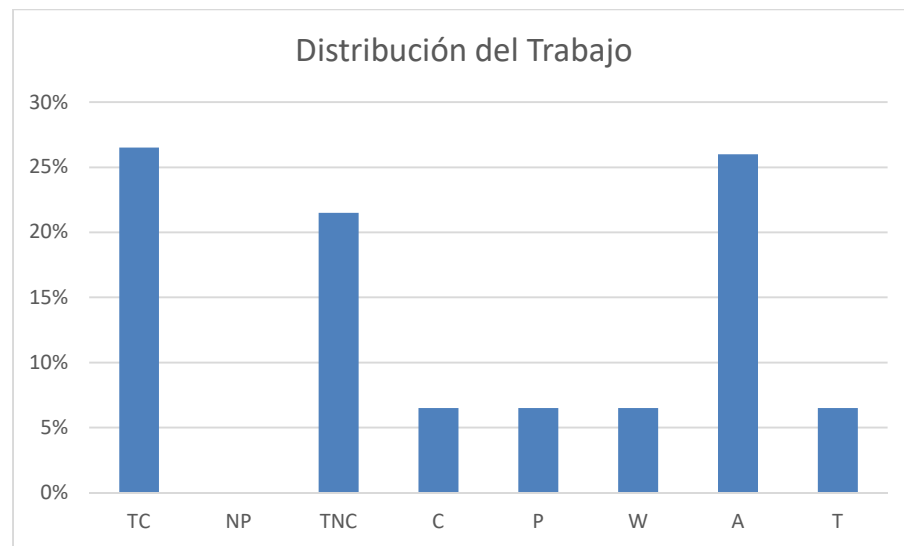
- Procesar los datos recogidos, se puede distribuir porcentualmente el uso del tiempo para cada uno de los integrantes de la cuadrilla.

**Tabla 16**

**Distribución Porcentual del Montaje de Torres**

	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8	Op9	Op10	TOTAL
TC	20%	20%	20%	20%	20%	20%	53%	53%	20%	20%	27%
NP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TNC	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	25%	70%	22%
C	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	55%	10%	7%
P	0%	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%
W	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%
A	0%	0%	65%	65%	65%	65%	0%	0%	0%	0%	26%
T	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	33%	0%	0%	7%
<b>TT</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

El total se puede graficar en barras:



**Figura 26.** Distribución del Trabajo

- c. Proponer alternativas de mejora y probarlas.

Como conclusiones de la carta balance se descubre que solo son necesarios 8 operarios: 1 plumero, 4 que lo acompañaran en los trabajos en altura, 1 winchero, 1 que se encargue de enviar las estructuras y 1 que se encargue de los vientos, con la ayuda de los ayudantes.

Con esto se estaría bajando de 10 a 8 la cantidad de operarios, reduciendo el costo promedio por hora.

Asimismo casi la mitad del tiempo se toma en trabajo no contributivo y contributivo, optimizando los siguientes trabajos:

### **Trabajo Productivo**

**Armar la torre:** Se suben 2 brazos a la vez cuidando que se ensamble a la vez para nunca tener carga suspendida. Con eso reduciendo el tiempo en mínimo 1 hora.

### **Trabajo Contributivo (TC)**

**Carga, Traslado y descarga de equipos y herramientas (T):** Todas las mañanas el personal carga los equipos y herramientas al camión y al fin de la jornada lo descarga, pero sí el camión permanecía con los equipos y herramientas durante la noche reduciendo el tiempo en mínimo 30 minutos

**Orden y Limpieza (L):** Se da un orden a todo con ello es más rápido ordenar y más rápido encontrar las herramientas, reduciendo el tiempo en mínimo 15 minutos.

**Mediciones (M):** las mediciones se hacen al inicio para que las 4 colocaciones se hagan en paralelo, reduciendo el tiempo en mínimo 30 minutos.

**Otros TC(X):** Acá se elaboraron charlas que tuvieran que ver con el trabajo de líneas propiamente dicho, con eso las charlas se complementaban con las indicaciones reduciendo el tiempo en mínimo 15 minutos.

Se llega a un promedio de 7 torres por 1,050 horas, el cuál será el nuevo índice de productividad meta.

- d. Si se quiere realizar un benchmark a todo el proyecto se puede aplicar:

### **Mediciones de Nivel General de Actividad**

Para realizar las mediciones de nivel general de actividad se deben seguir los siguientes pasos:

- a. Definición del alcance de la medición: actividades a medir, sectores a medir, objetivos de la medición, grado de detalle de la medición, etc.  
Ejemplo: Se hará un benchmark para la clasificación, el traslado, preensamblaje y montaje de torres.
- b. Antes de iniciar la medición se deben identificar los trabajos que componen las diferentes categorías (TP, TC y TNC), dependiendo del tipo de operación.

- c. Observar de manera aleatoria los trabajos que realiza el personal obrero, y registrarlos en un formato clasificándolo de acuerdo a la división del trabajo hecha en el paso b.
- d. Surge la pregunta: ¿cuántas observaciones se tiene que hacer para que esta muestra sea confiable?

Se aplicará la siguiente fórmula para una proporción poblacional:

$$n = \frac{Z^2 P(1 - P)}{E^2}$$

Donde:

n= número de muestras

Z= es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador, que se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 17*

*Valor de Distribución Normal Estandarizada*

Nivel de confianza	Nivel de significancia	Valor Z	
		Bilateral	Unilateral
90%	10%	1.64	1.28
95%	5%	1.96	1.64
98%	2%	2.32	2.05
99%	1%	2.57	2.32

P=es la proporción de la población que cumple con la característica de interés.

E= Error de estimación fijado por el investigador.

Ejemplo:

Para un nivel de confianza del 95% bilateral, una proporción de población (P) del 50% y un error de estimación (E) del 5%, ¿cuál será la cantidad de muestras mínima?

$$n = \frac{1.96^2 * 50\% * (1 - 50\%)}{5\%^2}$$

$$n = 384.16$$

e. Procesar la información y presentarla en forma gráfica y redactar un informe por escrito de las ocurrencias durante la medición.

Existen ciertas pautas que se deben tomar en cuenta en un muestreo:

- El observador debe ser capaz de identificar rápidamente a los individuos que se incluirán y/o excluirán de la medición. Por ejemplo, los capataces no se incluyen en la medición.
- Se debe utilizar el mismo criterio al observar a cada trabajador.
- Las observaciones deben realizarse aleatoriamente, sin ninguna relación secuencial.
- Es importante que al registrar lo observado, el observador lo haga de acuerdo a lo que él aprecie en forma instantánea al mirar. Las acciones inmediatamente precedentes o siguientes deben ser descartadas totalmente del registro.
- El observador debe ubicarse en un lugar donde no obstaculice los trabajos que se efectúen en la zona desde dónde pueda observar a la mayor cantidad de personal posible.
- Debe tomarse en cuenta que este tipo de mediciones son puntuales, por lo que sus resultados sólo muestran lo que sucede en el Proyecto en un momento particular del día, por este motivo es necesario que el observador realice anotaciones de lo que está midiendo y anexe un informe a los resultados obtenidos, que para el ejemplo serían los siguientes:

*Tabla 18*

*Resultados Herramienta Nivel General de Actividad*

**MEDICIONES PARA NIVEL GENERALDE ACTIVIDAD**

	TP	TC	TNC	Observación		TP	TC	TNC	Observación
1		T		Operario	194		T		operador
2	P			Operario	195	P			ayudante
3	P			Operario	196			E	operador
4		M		ayudante	197			B	ayudante
5		I		operador	198	P			operador
6			R	ayudante	199			V	operador
7	P			ayudante	200	P			Operario
8	P			operador	201	P			Operario
9		T		Operario	202		I		Operario
10			V	Operario	203			D	ayudante
11			N	Operario	204		M		operador

12	P			ayudante
13	P			operador
14		I		ayudante
15			Y	operador
16			E	operario
17	P			operario
18	P			operario
19			V	operario
20		T		ayudante
21			V	Operario
22	P			Operario
23	P			Operario
24		M		ayudante
25		T		operador
26			R	ayudante
27	P			ayudante
28	P			operador
29		T		Operario
30	P			Operario
31			E	Operario
32	P			ayudante
33	P			operador
34		X		ayudante
35			Y	operador
36		T		operario
37	P			operario
38	P			operario
39			N	operario
40			V	ayudante
41		T		Operario
42	P			Operario
43	P			Operario
44		I		ayudante
45			E	operador
46			R	ayudante
47		T		ayudante
48	P			operador
49			E	Operario
50		T		Operario
51			E	operador
52	P			operario
53	P			operario
54		T		Operario
55	P			ayudante
56			V	operario
57	P			Operario
58			E	operador
59	P			Operario
60		I		Operario
61			E	Operario
62	P			ayudante
63		T		ayudante
64	P			operador
65			E	Operario
66			E	operador
67			B	ayudante
205	P			ayudante
206			N	ayudante
207	P			operador
208			E	Operario
209	P			Operario
210	P			Operario
211		M		ayudante
212		T		operador
213	P			ayudante
214		T		operador
215	P			ayudante
216			E	operador
217			B	ayudante
218	P			operador
219		L		operador
220	P			Operario
221	P			Operario
222			N	Operario
223			D	ayudante
224	P			operador
225	P			ayudante
226		T		ayudante
227	P			operador
228			E	Operario
229	P			Operario
230	P			Operario
231		M		ayudante
232	P			operador
233			N	ayudante
234		T		operador
235	P			ayudante
236			E	operador
237			B	ayudante
238	P			operador
239		L		operador
240	P			Operario
241		X		Operario
242			N	Operario
243	P			ayudante
244			E	operador
245	P			operario
246			N	operario
247	P			Operario
248		I		Operario
249			E	Operario
250	P			Operario
251			N	operador
252		M		ayudante
253	P			operador
254	P			operario
255	P			Operario
256			E	operador
257			R	ayudante
258	P			Operario
259	P			Operario
260		M		ayudante

68			N	operario	261		X		Operario
69		L		ayudante	262			E	Operario
70		M		ayudante	263			N	operario
71	P			operador	264		L		ayudante
72	P			Operario	265			R	Operario
73		T		Operario	266		T		Operario
74	P			operario	267			B	ayudante
75	P			operario	268	P			Operario
76	P			operario	269		I		ayudante
77			E	ayudante	270			E	ayudante
78		T		Operario	271	P			Operario
79			E	operador	272			D	operador
80		I		Operario	273	P			operario
81			E	Operario	274		T		Operario
82		T		ayudante	275	P			operario
83		T		Operario	276			N	operario
84	P			Operario	277	P			Operario
85		M		ayudante	278		M		ayudante
86			R	Operario	279		T		Operario
87			R	Operario	280	P			operario
88	P			operario	281			N	operario
89		I		Operario	282	P			Operario
90			N	Operario	283	P			Operario
91		L		ayudante	284			D	ayudante
92	P			ayudante	285		L		ayudante
93		T		operador	286	P			ayudante
94		M		operador	287	P			operador
95	P			operario	288			E	Operario
96	P			operario	289	P			operario
97		L		ayudante	290			N	operario
98			B	ayudante	291	P			operario
99	P			operador	292			N	operario
100		I		ayudante	293		L		ayudante
101	P			Operario	294			E	Operario
102			R	ayudante	295	P			ayudante
103		T		Operario	296		T		Operario
104	P			ayudante	297	P			Operario
105	P			Operario	298			B	ayudante
106			B	ayudante	299		T		Operario
107	P			ayudante	300			E	operador
108			D	ayudante	301	P			operador
109		T		ayudante	302		T		Operario
110	P			Operario	303			D	Operario
111		I		operador	304	P			Operario
112		X		Operario	305		I		Operario
113			E	Operario	306			E	Operario
114		L		ayudante	307	P			operador
115	P			ayudante	308		I		operador
116	P			ayudante	309	P			Operario
117		T		operador	310			R	Operario
118	P			ayudante	311		T		ayudante
119		T		Operario	312	P			Operario
120			E	operador	313	P			Operario
121	P			operario	314		I		Operario
122			N	operario	315			E	Operario
123	P			Operario	316	P			ayudante
124		I		ayudante	317	P			Operario

125			D	Operario
126		T		operador
127			D	operador
128	P			operario
129			E	operador
130	P			operador
131		T		Operario
132			E	Operario
133			E	Operario
134	P			operario
135			N	operario
136	P			Operario
137	P			Operario
138		M		operador
139	P			operador
140		T		Operario
141			E	Operario
142	P			operario
143		L		ayudante
144			E	ayudante
145		M		ayudante
146	P			Operario
147	P			Operario
148	P			operador
149	P			operario
150			E	operador
151	P			operador
152		L		operador
153			D	Operario
154	P			Operario
155	P			Operario
156		T		Operario
157		X		ayudante
158	P			Operario
159	P			operario
160		L		ayudante
161	P			operador
162		T		Operario
163		X		ayudante
164	P			Operario
165		T		Operario
166	P			operador
167		T		Operario
168		I		Operario
169	P			ayudante
170		M		ayudante
171		L		ayudante
172	P			ayudante
173	P			operario
174			N	operario
175	P			Operario
176	P			operario
177		L		ayudante
178		M		ayudante
179		M		ayudante
180		X		ayudante
181	P			Operario
318	P			Operario
319		X		ayudante
320			E	Operario
321	P			ayudante
322	P			Operario
323		I		Operario
324			E	Operario
325	P			operario
326			N	operario
327	P			Operario
328		T		Operario
329			E	operador
330	P			Operario
331	P			Operario
332	P			operador
333			E	Operario
334		X		ayudante
335			E	Operario
336	P			Operario
337	P			Operario
338		L		ayudante
339	P			ayudante
340	P			operador
341		I		Operario
342		L		ayudante
343	P			ayudante
344	P			ayudante
345		T		ayudante
346		I		ayudante
347		T		Operario
348	P			operario
349			N	operario
350	P			operador
351		T		Operario
352	P			operario
353			E	operador
354		L		ayudante
355		M		ayudante
356	P			Operario
357	P			Operario
358	P			operador
359	P			operario
360	P			Operario
361	P			Operario
362	P			operador
363		T		Operario
364		I		Operario
365	P			operador
366		T		Operario
367	P			Operario
368		T		Operario
369	P			operario
370		L		ayudante
371	P			operador
372		I		operador
373		T		Operario
374	P			Operario

182	P			operador	375	P			operario
183		T		Operario	376	P			operario
184	P			operario	377		L		ayudante
185			E	operador	378	P			operario
186	P			operario	379		T		Operario
187			N	operario	380		X		Operario
188	P			Operario	381	P			operario
189	P			Operario	382		I		ayudante
190	P			operario	383		T		Operario
191			N	operario	384	P			Operario
192		M		ayudante	385	P			operario
193	P			Operario	386	P			ayudante
<b>TT</b>	<b>80</b>	<b>63</b>	<b>50</b>		<b>TT</b>	<b>89</b>	<b>56</b>	<b>48</b>	

**Clasificación  
del Trabajo:**

32	Trabajo Contributorio		
15	T	Transporte	
4	L	Limpieza o aseo	
2	I	Instrucciones	
6	M	Mediciones	
5	X	Otros TC	

25	Trabajo No Contributorio		
2	V	Viajes	
3	N	Tiempo Ocioso	
10	E	Espera	
3	R	Trabajo rehecho	
2	D	Descanso	
3	B	Nec Fisiológicas	
2	Y	Otros TNC	

TP	TC	TNC	TOT	
	169	119	98	386

TP	TC	TNC	TOT	
	44%	31%	25%	100%

**Tabla 19**

*Detalle del Trabajo contributorio y no contributorio del nivel general de actividad*

TC					TNC						
T	L	I	M	X	V	N	E	R	D	B	Y
50	19	22	18	10	6	22	42	9	9	8	2
TC					TNC						
T	L	I	M	X	V	N	E	R	D	B	Y
42%	16%	18%	15%	8%	6%	22%	43%	9%	9%	8%	2%



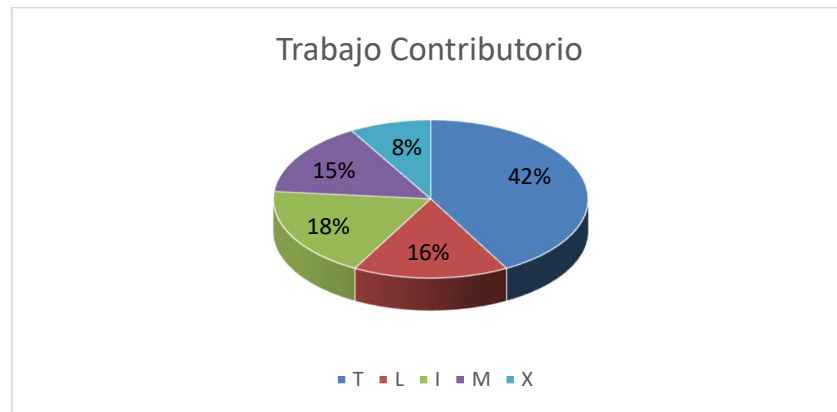


Figura 27. Distribución del Trabajo Contributorio

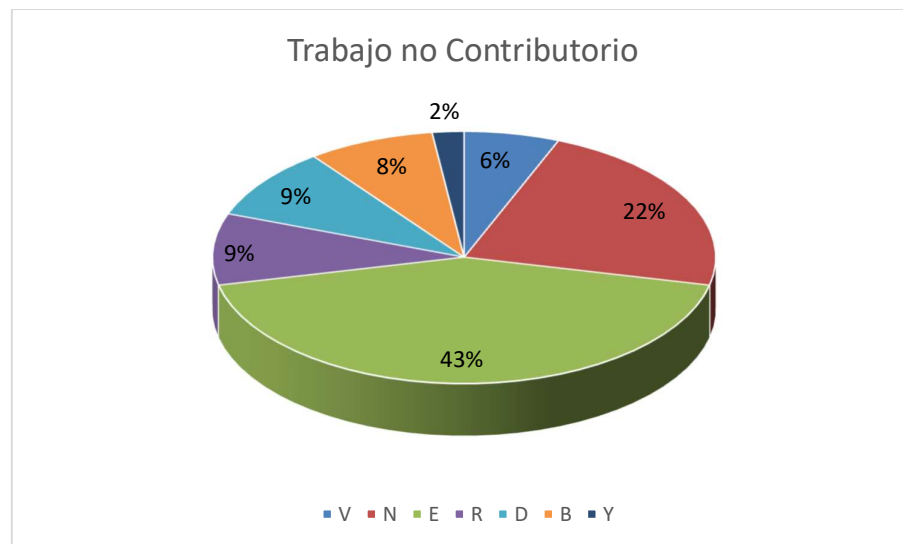


Figura 28. Distribución del Trabajo No Contributorio

## 5.2. Validar y Controlar el alcance

“Validar el alcance es el proceso de formalizar la aceptación de los entregables del proyecto que se hayan completado. Controlar el alcance es el proceso en el cual se monitorea el estado del alcance del proyecto y del producto, y se gestionan cambios a la línea base del alcance”. (Project Management Institute, 2013)

Se usará el principio 1 de Lean Construction: Especificar el valor desde el punto de vista del cliente, acá se pueden cometer 2 errores: hacer actividades

que no agregan valor al cliente o agregar valor pero no conseguir una retribución por eso como en el siguiente ejemplo.

Ejemplo:

Cuando se produjo la pérdida por la revisión topográfica que no estaba en el alcance, se buscó la causa o causas de esto mediante las 5 preguntas:

- ¿Por qué se están haciendo actividades fuera de los requisitos?
- Porque el personal no conoce el alcance
- ¿Por qué el personal no conoce el alcance?
- Porque se piensa que lo gerentes y el gestor de contratos son los únicos que deben conocerlo.
- ¿Por qué se piensa que los gerentes y el gestor de contratos son los únicos que deben conocerlo?
- Porque siempre ha sido así.
- ¿Por qué siempre ha sido así?
- Por recelo de compartir la información.
- ¿Por qué hay recelo en compartir la información?
- Por qué esa idea está dentro de la cultura de la empresa.

Para sacra esta idea de la cultura de la empresa y como objetivo lograr que el 100% del personal de la línea de mando conozca el alcance se aplica el siguiente formato A3.

*Tabla 20*

*Formato A3 para el Conocimiento del Alcance*

TÍTULO	RESPONSABLE: GESTOR DE CONTRATO
<b>I. Contexto</b>	<b>V. Contramedidas propuestas</b>
Dentro de la cultura de la empresa hay un recelo por compartir la información. Por ello se piensa que solo los gerentes y el gestor de contratos deben conocer el alcance.	Convencer a la gerencia que muchas pérdidas se podrían haber evitado si el personal conociera el alcance. Se realiza un capacitación sobre el alcance a toda la línea de mando, donde los gerentes y el gestor de contratos comparten su información.
<b>II. Situación actual</b>	<b>VI. Plan</b>
Los gerentes piensan que hay información que no deben conocer los empleados  Solo el 20% de la línea de mando conoce el alcance	Condición de suficiencia: Todo el personal pasa una evaluación simple
<b>III. Objetivo</b>	<b>VII. Seguimiento</b>
Que el 100% de la línea de mando conozca el alcance.	Todos los cambios en el alcance serán comunicados por el gestor de contratos a toda la línea de mando

### 5.3. Controlar el Tiempo

“Controlar el cronograma es el proceso de monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios de la línea base del cronograma a fin de cumplir el plan” (Project Management Institute, 2013).

Controlar el cronograma nos permite tener la menor cantidad de pérdidas por tiempo de espera, pero ¿por qué se dan los tiempos de espera?, esto se debe a las causas de incumplimiento, las cuáles se vieron en el marco teórico pero se adaptaron al proyecto Líneas de Transmisión y se dan ejemplos.

Tabla 21

Matriz de Causas de Incumplimiento para la Línea de Transmisión

MATRIZ CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO		
CÓDIGO	CAUSA DE INCUMPLIMIENTO	DESCRIPCIÓN
<b>(ACT PREV)</b>	Actividades Previas	Esta causa indica el no cumplimiento de las actividades por retrasos en actividades previas, las cuales incumplen la fecha por motivos como programación, logística, etc.
<b>(ADM)</b>	Administración	Requerimientos o subidas de personal, causas administrativas propias.
<b>(CLI-EQ)</b>	Cliente - Equipos	Entrega inoportuna de equipos por parte del cliente, solicitada con la debida anticipación.
<b>(CLI-ING)</b>	Cliente - Ingeniería	Entrega inoportuna de Ingeniería por parte del cliente, solicitada con la debida anticipación.
<b>(CLI-MAT)</b>	Cliente - Materiales	Entrega inoportuna de material por parte del cliente, solicitada con la debida anticipación.
<b>(CLI-PERM)</b>	Cliente - Permisos	Entrega inoportuna de permisos por parte del cliente, solicitada con la debida anticipación.
<b>(CLI-PRI)</b>	Cliente - Prioridad	Se priorizo actividades por petición del cliente, no fue solicitada con la debida anticipación.
<b>(EJ)</b>	Errores de Ejecución	Retrabajos o errores en la ejecución por parte nuestra.
<b>(EQ)</b>	Equipos	Todas las causas que implican averías o fallas en los equipos que no permitieron el cumplimiento de las actividades del Plan Semanal.
<b>(EXT)</b>	Externo	Retraso por clima, tormentas eléctricas, por eventos extraordinarios (marchas, huelgas) y por falta de entrega de permisos o licencias. Variabilidades.
<b>(INTERF)</b>	Interferencias	Interferencias externas con otros subcontratistas.
<b>(LOG)</b>	Logística	Falta de recursos en obra (equipos mayores y menores, herramientas, subcontratos y materiales), solicitados anticipadamente por producción.
<b>(OT)</b>	Oficina Técnica	Requerimientos, planos asbuill, topografía, etc.
<b>(PROG)</b>	Programación	Errores en la programación, restricciones no identificadas de manera oportuna, errores en el cálculo de recursos o mal uso de herramienta de programación.
<b>(QA/QC)</b>	Calidad	Falta de aprobación de protocolos o liberaciones.
<b>(SC)</b>	Subcontratos	Ocasionada por subcontratas: abandono, retrabajos, errores, demoras, etc.

Ejemplos:

**Actividades Previas (ACT PREV):** Demora para el inicio de la actividad de montaje de torres porque no se había concluido el pre-ensamblaje.

**Administrativas (ADM):** Demora para el inicio de las actividades porque no se tenía el personal suficiente debido a que los permisos de residencia y de trabajo no estaban listos.

**Cliente Equipos (CLI- EQ):** Demora en el despacho de las estructuras debido a que el cliente solo tenía una plataforma para el transporte de estas.

**Cliente Ingeniería (CLI-ING):** Demora porque el cliente no tenía la ubicación ni las alturas exactas de todas las torres.

**Cliente Materiales (CLI-MAT):** Demora o llegada incompleta de la estructura de las torres.

**Cliente Permisos (CLI-PERM):** Demora porque el cliente no tenía todos los permisos para ingresar a cada predio.

**Cliente Prioridad (CLI-PRI):** Demora porque el cliente indicaba priorizar áreas donde no le fue fácil obtener los permisos.

**Errores de Ejecución (EJ):** Demora porque en una oportunidad se dañó el cable y tuvo que ser retirado.

**Equipos (EQU):** Demora por fallas de un winche de montaje, de un winche o freno de tendido.

**Externo (EXT):** Retrasos por lluvias, o mal estado de los accesos.

**Interferencias (INTERF):** Demora porque no se podía pre ensamblar en zonas donde el mejoramiento del terreno estaba siendo efectuado por otros subcontratistas.

**Logística (LOG):** Demoras por la llegada de los arnés de seguridad.

**Oficina Técnica (OT):** Demora del cuadro de torres, donde se indica el tipo y medida, y el plan de tendido.

**Programación (PROG):** Restricciones no identificadas de manera oportuna o mal uso de herramientas programación.

**Calidad (QA/QC):** Demora por la falta de aprobación de los protocolos de montaje para iniciar el tendido.

**Subcontratos (SC):** Demora en la llegada del subcontrato de pruebas de fibra óptica.

En un 42% las causas de incumplimiento enumeradas eran de programación, no olvidar que la programación es la forma más importante de proteger el plan.



Figura 29. La Importancia de la Programación.

Para lograr ese objetivo se tuvo que recurrir al Last Planner, que es una herramienta del Lean Construction que se vio en la teoría.

La programación en cascada del Last Planner, se organiza en tres niveles: programación a largo plazo (Main Program), a medio plazo (Lookahead Program) y programación a corto o reporte semanal (Weekly Work Plan).

1. Programación a largo plazo (Main Program) de Producción.  
La programación a largo plazo está dada por el cronograma meta que se vio en el planeamiento pero con las fechas actualizadas.
2. Programación a mediano plazo (Look Ahead Program) de Producción.

Para el caso de la línea de transmisión el lookahead fue de 3 semanas, el tiempo se seleccionó porque se puede ver el horizonte de como el cliente irá entregando los materiales para las torres de transmisión, si es que en la tercera semana no está programada una entrega lo más seguro es que en la semana siguiente se tenga paradas por falta de material.

**Tabla 22**  
**Programación a Mediano Plazo de la Línea de Transmisión**

	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	19-sep	20-sep	21-sep	22-sep	23-sep	24-sep	25-sep	26-sep	27-sep	28-sep	29-sep	30-sep	01-oct
<b>Pre-assembly, Erection and Review (Team 3)</b>																			
Weekend	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Day	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Other	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Pre-assembly, Erection and Review (Team 4)</b>																			
Weekend	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Day	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Other	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

3. Programación a corto plazo o semanal (Weekly Work Plan)

La programación de la semana que sigue debe estar libre de restricciones, es la única forma de asegurarse de que el flujo sea continuo y se estará aplicando Last Planner

4. Análisis de Restricciones

Evaluar todas las actividades del look ahead e identificar las limitaciones que hacen que las actividades no se puedan programar. El objetivo principal es anticiparse a todo lo que hace falta para ejecutar una tarea.

Los criterios o tipos de restricciones son los siguientes:

- Información: Evaluar si se cuenta con la información necesaria, se tiene el plan de tendido, las especificaciones del conductor, las normas técnicas, el procedimiento constructivo del tendido, etc.
- Materiales: Evaluar si se cuenta con los materiales y consumibles necesarios. Se tiene el conductor, la fibra óptica, el cable de guarda.
- Recursos Humanos: Evaluar si se cuenta con los recursos humanos necesarios (empleados, obreros, terceros, etc.) con la especialidad, la experiencia y en cantidad suficiente. Se tiene los operarios colombianos y peruanos con una gran experiencia en líneas.

- Equipos y Herramientas: Evaluar si se cuenta con los equipos y herramientas necesarias. ¿Se tiene el winche, el freno, la empalmadora, etc?
- Actividades Predecesoras: Evaluar si las actividades predecesoras ya están ejecutadas o se ejecutarán con anterioridad al inicio de esta actividad. ¿Está ejecutado el preensamble,
- Permisos o Licencias: Verificar si se cuentan con los permisos municipales o los que correspondan.
- Cliente/Supervisión: Verificar si existen aprobaciones o permisos que deban ser otorgados por el cliente y/o la supervisión.

Ejemplo:

A continuación se enumeran las restricciones del tendido de línea como parte de un plan para su levantamiento.

Tabla 23

Cuadro para el levantamiento de Restricciones

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	FECHA DE INICIO DEL LOOKAHEAD	DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	FECHA REQUERIDA DE LEVANTAMIENTO DE RESTRICCION	RESP.
		Plan de Tendido	una semana antes	Área de Ingeniería
<i>Tendido de Línea:</i>		Desbroce de árboles	una semana antes	Cliente
Primero se tiende la cuerda		Protocolos aprobados	una semana antes	Área de Calidad
Segundo se tiende la coordina		Cruces de Vía	una semana antes	Área de Construcción
Finalmente se tiene el conductor		Cruces de Línea	una semana antes	Cliente
		Winche y Freno en sitio	una semana antes	Transporte
		Conductor y Fibra óptica en sitio	una semana antes	Transporte
		Equipos Operativos	una semana antes	Área de Mantenimiento
		Coordinación de alimentación	una semana antes	Área de Logística
		Entrega de EPPs y herramientas	una semana antes	Área de almacén
		Charlas previas a la actividad	una semana antes	Área de seguridad
		Procedimiento de Trabajo	una semana antes	Área de Construcción
		Radios de comunicación operativas	una semana antes	Área de comunicaciones

Si en la semana anterior se ha levantado todas las restricciones eso quiere decir que se podrá iniciar el tendido en la semana que inicia, de lo contrario se tendrá que levantar las restricciones faltantes y posponer el inicio.

#### 5.4. Controlar los Costos

“Controlar los Costos es el proceso de monitorear el estado del proyecto para actualizar sus costos y gestionar cambios de la línea base de costo”. (Project Management Institute, 2013)

Para controlar con el control de costos se partirá del análisis de brechas visto en el monitoreo:

### **Brechas de Mano de Obra**

Tenemos que comparar el IP de la Mano del Obra con los ratios del presupuesto meta y tendremos brechas por productividad. También tenemos que comparar las brechas por tarifa que son las que se ocasionan por bonos y los costos asociados a la mano de obra como: mayor gasto en implementos de seguridad, alojamiento, alimentación, transporte interno y externo, exámenes médicos y charlas de seguridad.

### **Brechas de la Mano de Obra por Productividad Índice de Productividad (IP)**

Este índice es la relación entre la cantidad de recursos consumidos por unidad de trabajo realizado, Ejemplo: Horas hombre por torre, horas hombre por tonelada, horas hombre por kilómetro, costo de traslado por torre, etc.

### **Causas de brechas en IP de Mano de Obra**

#### **1. Trabajos No contributivos o Pérdidas**

**Transporte:** Dentro de las 10 horas que trabajan los obreros, cuanto es el tiempo que se pierde en transporte para llegar el punto de trabajo, para tomar sus alimentos.

**Movimiento:** Dentro de las 10 horas de trabajo cuanto tiempo usan en movilizarse al siguiente punto de trabajo, a los servicios higiénicos.

**Espera:** Cuanto tiempo se pierde en espera de instrucciones, información, llegada de materiales, equipos, etc.

**Procesos inadecuados:** El personal tiene que buscar todas las firmas de la supervisión, seguridad, etc. Cuando lo más adecuado que las áreas de supervisión estén pendientes.

**Defectos:** Se pierde mucho en re trabajos por no hacer el trabajo con calidad.

**Talento no aprovechado:** Se pierde mucho por no detectar al personal que esta subutilizado.

**Hacer por Hacer:** El personal no tiene los elementos necesarios para realizar la actividad, pero igual se hace.



En la línea de transmisión se vio que se generaban muchos tiempos de espera por lo que se decidió hacer un diagrama de Ishikawa para detectar las causas de las pérdidas.

Ejemplo: Al segundo mes se tenía una brecha de Mano de Obra de 26,652 por esperas. Luego se procedió a identificar las causas:

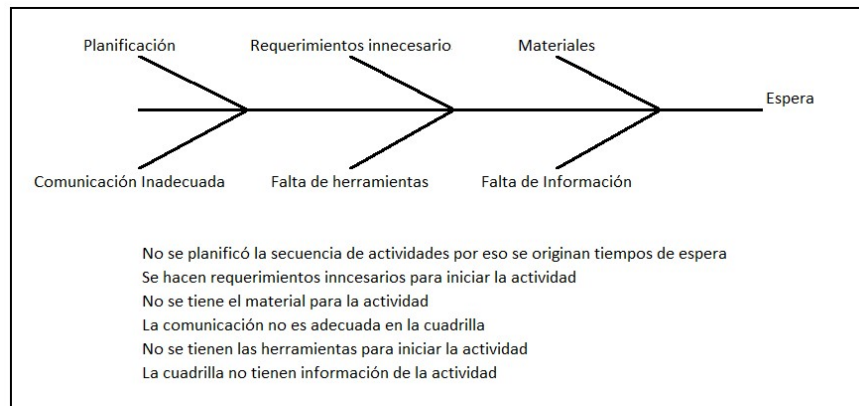


Figura 30. Diagrama Causa Efecto de la Brecha de Mano de Obra.

En función de las fuentes que originan el desperdicio, se construye el formato A3 de la mejora:

Tabla 24

Formato A3 de la brecha de Mano de Obra

TÍTULO	RESPONSABLE
<b>I. Contexto</b>	<b>V. Contramedidas propuestas</b>
La empresa que había contratado el cliente tenía todo el material en su almacén. Esta empresa acordó con el cliente enviar ordenadamente desde la torre 1 a la torre 370. Pero las obras civiles, que todavía no estaban ejecutadas en su mayoría no seguían ese orden.	Se ayudo al cliente a tener un cronograma de Obras civiles en grupos de 5 cercanos. En función de ese cronograma se traían las estructuras.
A esto se suma que muchos miembros de la cuadrilla no se conocían por lo que la comunicación era deficiente	Hicimos un taller de integración mediante juegos con el fin de que se desarrolle confianza necesaria
No se tenían las herramientas adecuadas como por ejemplo los ganchos no tenían el diametro adecuado por lo que tomaban más tiempo en colocarse	Se analizaron las herramientas con toda la cuadrilla, buscando opciones de mejora
No habían la cantidad de planos adecuados	Se sacaron mas juegos de planos buscado que todos tengan la información en el momento
Se inició en una temporada de Lluvias	
Había dificultad en llegada a puntos de trabajo porque los accesos eran dañados por las lluvias	
<b>II. Situación actual</b>	<b>VI. Plan</b>
La demora en la llegada de las torres ocasionaba tiempos de espera	Condición de suficiencia: verificar que se tenían 20 torres del cliente dos semanas antes del preensamblaje
La comunicación dentro de la cuadrilla era deficiente y eso hacia que los nuevos tengan muchos tiempos de espera	Condición de suficiencia: Tener como mínimo dos talleres de integración en una semana
El no tener las herramientas adecuadas hacía que demoren más en las actividades	Condición de suficiencia: que todos tengan las herramientas adecuadas
Como no había la cantidad adecuada de planos, tenía que esperar a que sus compañeros terminen.	Condición de suficiencia: 3 juegos de planos por cada cuadrilla
La temporada de lluvias y la afectación de los accesos generaban tiempos de espera.	
<b>III. Objetivo</b>	<b>VII. Seguimiento</b>
Eliminar los tiempos de espera	El seguimiento se hará a la semana buscando que se cumplan los indicadores
	La mejora debe estandarizarse al mes
	Una vez llegada a esta estandarización se hará un nuevo plan de mejora
<b>IV. Análisis</b>	
Despues de analizar todas las causas llegamos a la conclusión que los tiempos de espera por lluvias y afectaciones de los accesos eran condiciones de borde.	

### Brechas de Equipos

Se tendrán brecha por tarifa y para ello se debe hacer una buena negociación con los proveedores.

Se tendrá brechas por productividad para ello hay se tiene que llevar un IP de equipos que serán los soles o dólares que se gastan en un pull de equipos para generar un determinado avance. Las principales pérdidas serán:

**Movimiento:** Se pueden producir pérdidas por movimientos innecesarios de equipos.

**Espera:** ¿Cuánto tiempo se pierde en espera de la certificación del rigger, de los operadores, por espera de permisos?

**Procesos inadecuados:** ¿Cuánto tiempo se pierde porque los mantenimientos no son preventivos sino correctivos?

**Defectos:** Estas pérdidas se dan por no usar el equipo adecuado.

Ejemplo:

En el frente 2 de la línea de transmisión se hizo el requerimiento de un tractor pero no previó cómo se iban a cargar las estructuras, por lo que se tuvo que conseguir una retroexcavadora, lo que originó mayor tiempo en la actividad de transporte de materiales y mayores costos por lo que se decidió hacer un diagrama de Ishikawa para detectar las causas de las pérdidas.

En función de las fuentes que originan el desperdicio, se construye el formato

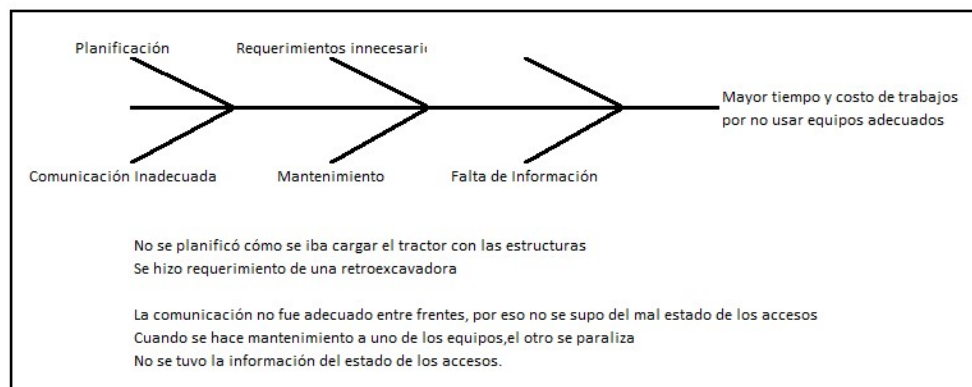


Figura 31. Diagrama de Ishikawa de la brecha de Equipos

*A3 de la mejora:*

*Tabla 25*

*Formato A3 de la Brecha de Equipos*

TÍTULO	RESPONSABLE
<b>I. Contexto</b>	<b>V. Contramedidas propuestas</b>
El frente 3 inicia primero y se da cuenta que lo ideal es usar un cargador frontal para llevar las estructuras pero no comunica al frente 2.	Los frentes deben tener una comunicación continua.
El frente 2 adquiere un tractor y por no poder subir las estructuras, tiene que contratar una retroexcavadora lo que ocasiona más costos de alquiler y mantenimiento.	Se tiene que hacer un menor análisis a la hora de seleccionar un equipo y no cometer el error de seleccionar algo que después no se puede sacar tan fácilmente porque tiene un contrato.
El frente 2 no tenía la información del estado de los accesos a las torres.	El supervisor siempre debe explorar los accesos.
<b>II. Situación actual</b>	<b>VI. Plan</b>
Al no tener los equipos adecuados el frente 2 demora más y gasta más en el traslado de los equipos.	Condición de suficiencia: Implementamos un sistema drive donde cada frente puede colocar información relevante.
	Condición de suficiencia: Presentar un comparativo entre los distintos equipos antes de adquirirlos y buscar el juicio experto.
	Condición de suficiencia: El supervisor debe conocer todos los accesos y condiciones una semana antes.
<b>III. Objetivo</b>	<b>VII. Seguimiento</b>
Seleccionar bien los equipos del proyecto.	El seguimiento se hará a la semana buscando que se cumplan los indicadores.
	La mejora debe estandarizarse al mes.
	Una vez llegada a esta estandarización se hará un nuevo plan de mejora.

**Brechas de Materiales**

Se tendrá brechas por el gasto que se planifico tener en materiales contra el que realmente se está incurriendo. Esto debido al aumento de los precios o a que no estamos haciendo una gestión de adquisiciones eficientes, como se verá más adelante. Las principales pérdidas serán:

**Inventario:** No se planifica bien los materiales que se van a usar por lo que se compran productos que al final no se usan, este inventario produce falta de liquidez en el proyecto, y aunque al final se venda el inventario, no se logra en la mayoría de casos recuperar lo invertido convirtiéndose en una pérdida.

**Defectos:** No se compra de acuerdo a las especificaciones o un producto de la calidad requerida, por lo que se tiene que volver a comprar, y peor qué eso es tener que gastar horas hombre u horas máquina en el cambio del material defectuoso.

En un proyecto en Arequipa, se compraron cintillos para cables sin protección UV por lo que el sol hizo que con el tiempo se partieran, la pérdida no solo fue en el material que tuvo que ser desechado, sino en las horas hombre para cambiar esos cintillos.

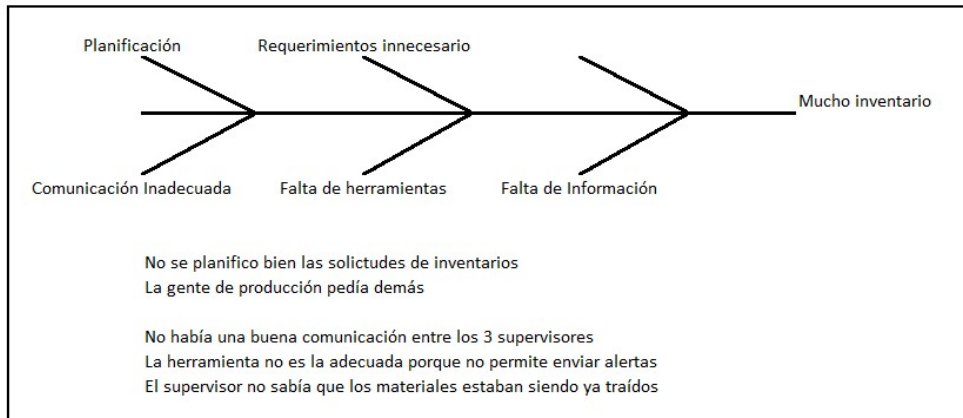


Figura 32. Diagrama de Ishikawa de la Brecha de Materiales.

En función de las fuentes que originan el desperdicio, se construye el formato A3 de la mejora:

Tabla 26

Formato A3 de la Brecha de Materiales

TÍTULO	RESPONSABLE
<b>I. Contexto</b>	<b>V. Contraindicadas propuestas</b>
No hay una buena comunicación entre frentes para saber que pide cada uno.	Los frentes deben tener una comunicación continua.
La herramienta para los requerimientos no es la adecuada	Colocar una alerta en el sistema para que indique que cantidades ya se están trayendo del mismo material
No hay información del presupuesto meta de materiales	Los frentes pueden consolidar sus pedidos para tener mejores precios
<b>II. Situación actual</b>	<b>VI. Plan</b>
Al haber muchos requerimientos de lo mismo se generará un gran inventario	Condición de suficiencia: Implementamos un sistema drive donde cada frente puede colocar información relevante.
	Condición de suficiencia: Que el sistema de alertas de resultados antes de adquirirlos y buscar el juicio experto
	Condición de suficiencia: Los supervisores deben conocer las cantidades meta para que no se excedan
<b>III. Objetivo</b>	<b>VII. Seguimiento</b>
Disminuir el valor del inventario	El seguimiento se hará a la semana buscando que se cumplan los indicadores
	La mejora debe estandarizarse al mes
	Una vez llegada a esta estandarización se hará un nuevo plan de mejora

### Brechas de Subcontratos

Se tendrá brechas por el gasto que se planifico tener en subcontratos contra el que realmente se está incurriendo. Esto debido al aumento de precios o a que no estamos gestionando los subcontratos, a los cuáles si es por tarifas se tiene que hacer un seguimiento continuo. Las principales pérdidas serán:

**Espera:** El subcontrato llega cuando no hay los permisos de la supervisión o la actividad aún no puede realizarse, ocasionando cobros por tiempos de standby.

**Procesos inadecuados:** Si bien es cierto la responsabilidad es del contratista, las tolerancias las define el contratante por lo que hay que tener bien definida la actividad.

**Defectos:** Al igual que con el personal propio, el personal subcontratista debe tener claro el alcance sino se pueden ocasionar re trabajos, que serían atribuibles al contratante en caso no hubiera una buena definición. Y así fuese responsabilidad del subcontratista, para el cliente final el responsable final es el contratante.

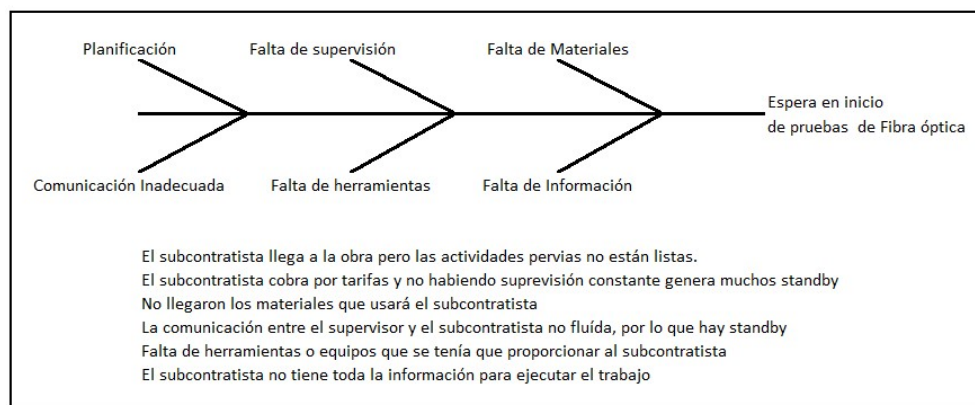


Figura 33. Diagrama de Ishikawa de la brecha de subcontratos.

En función de las fuentes que originan el desperdicio, se construye el formato A3 de la mejora:

Tabla 27

Formato A3 de la Brecha de Subcontratos

TÍTULO	RESPONSABLE
<b>I. Contexto</b>	<b>V. Contramedidas propuestas</b>
No llegaron los materiales para iniciar las pruebas de la fibra optica.	Incluir en el 3w/a de los materiales, los que se usarán para los subcontratos
La comunicación entre el supervisor y el subcontratista no es fluida por lo que las liberaciones demoran mucho	Implementar reuniones de coordinación entre el subcontratista y el supervisor
Falta de materiales como los andamios para que el subcontratista pueda ejecutar su trabajo	Brindar toda la información al subcontratista, no limitarla
El subcontratista no tiene todas las especificaciones de cliente	
<b>II. Situación actual</b>	<b>VI. Plan</b>
El subcontratista tiene muchas esperas para ejecutar los trabajos	Condición de suficiencia: se coloco en el 3w/a semanal los materiales de subcontratos
	Condición de suficiencia: Una reunión semanal con el subcontratista antes de adquirirlos y buscar el juicio experto
	Condición de suficiencia:Enviar con anticipación la información de los trabajos al subcontratista y verificar sus dudas
<b>III. Objetivo</b>	<b>VII. Seguimiento</b>
Eliminar los tiempos de espera del subcontratista	El seguimiento se hará a la semana buscando que se cumplan los
	La mejora debe estandarizarse al mes
	Una vez llegada a esta estandarización se hara un nuevo plan de mejora

### Brechas de Gastos Generales

Se tendrá brechas por mayor cantidad de personal que el originalmente planificado, mayores gastos en sistemas y comunicaciones, mayores gastos en equipos de apoyo, mayores gastos en alojamiento y alimentación, en infraestructura, etc.

Los gastos generales o costos fijos deben ser el menor posible, de eso depende en gran parte la utilidad del proyecto.

**Talento no aprovechado:** Dentro de los gastos generales tenemos al personal que dirige el proyecto, así que tiene que ser personal adecuadamente capacitado.

No solo se debe llevar la gestión acumulada a la fecha sino también la proyección del saldo, hallando su brecha con el presupuesto meta. La suma de estas 2 nos dará la gestión proyectada al cierre.

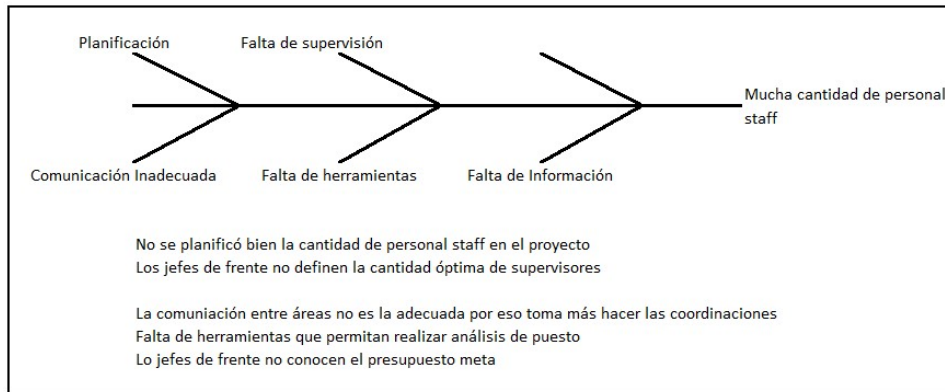


Figura 34. Diagrama de Ishikawa de la brecha de gastos generales.

En función de las fuentes que originan el desperdicio, se construye el formato A3 de la mejora:

Tabla 28

**Formato A3 de la Brecha de Gastos Generales**

TÍTULO	RESPONSABLE
<b>I. Contexto</b>	<b>V. Contramedidas propuestas</b>
La comunicación entre áreas no es la adecuada por eso toma más hacer las coordinaciones	Hacer un taller de integración entre las áreas de soporte y las de producción
Falta de herramientas que permitan realizar análisis de puesto	Se solicita el soporte de Oficina Principal para hacer análisis de puestos
Los jefes de frente no conocen el presupuesto meta	Informar sobre el presupuesto meta a los jefes de frente para que lo tomen en cuenta en sus requerimiento
<b>II. Situación actual</b>	<b>VI. Plan</b>
Se está gastando más en personal staff del planificado	Condición de suficiencia: se realiza un taller de integración quincenal
	Condición de suficiencia: Oficina principal hace un análisis de puestos para el otros mes
	Condición de suficiencia: Los jefes de frente tiene el presupuesto meta y participan de haber cambios
<b>III. Objetivo</b>	<b>VII. Seguimiento</b>
Disminuir los gastos de personal	El seguimiento se hará a la semana buscando que se cumplan los
	La mejora debe estandarizarse al mes
	Una vez llegada a esta estandarización se hará un nuevo plan de mejora

**6. CIERRE**

**6.1. Cerrar Proyecto o Fase**

“Cerrar Proyecto o Fase es el proceso que consiste en finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos de la dirección de proyectos para completar formalmente el proyecto o una fase del mismo”. (Project Management Institute, 2013)

Realizar todos los pasos necesarios para dar por cerrado el Proyecto al finalizar la ejecución del mismo, debiendo cumplirse lo siguiente:



- Que ante el Cliente quede documentado de manera formal, objetiva y precisa que el Proyecto ha sido concluido correcta y satisfactoriamente para las partes, de acuerdo a lo establecido por el Contrato en términos del alcance, costo y plazo.
- Que internamente se realicen todas las labores administrativas necesarias, en cumplimiento de los lineamientos y políticas de la empresa y de los requisitos de las auditorías internas y externas aplicables.

**Ejemplo:**

Se comunicó al cliente que todas las observaciones del check list fueron levantadas al 30 de abril por lo que se da por concluido el proyecto.

*Tabla 29*

*Check List*

ITEM	DESCRIPTION	APRIL																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10	<b>OPGW Boxes</b>																														
	T22N splicing box, OPGW re-stringing																														
	IT DIELECTRIC Conductor on Site																														
	Joint Boxes installation																														
	Derivation Boxes installation																														
	OPGW test																														
11	<b>Torque Check</b>																														
	Tramo 2																														
	Tramo 3																														
13	<b>Warning Spheres</b>																														
	Tramo 3 Warning Spheres Installation																														
	Tramo 2 Seafreight Delivery																														
	Tramo 2 Seafreight Aduana Process																														
	Tramo 2 Warning Spheres Installation																														
14	<b>Tower Signaling</b>																														
	Numbered Signal Plates Delivery #1																														
	Numbered Signal Plates Delivery #2																														
	Aereal Tower Signal																														
	Signals Installation																														

**6.2. Cerrar las adquisiciones**

“Cerrar las Adquisiciones es el proceso de finalizar cada adquisición. El beneficio clave de este proceso es que documenta los acuerdos y la documentación relacionada para futura referencia”. (Project Management Institute, 2013)

- El Administrador de Proyecto debe comunicar en forma escrita a los proveedores y subcontratistas, con quienes a la fecha mantenga saldos pendientes, el cierre del Proyecto, con el objetivo de establecer la fecha y forma de conciliación y obtener el certificado o constancia de no adeudo.



- Se recomienda que en la comunicación se reitere el cumplimiento de las obligaciones contractuales en cuanto a la demostración de cumplimiento de obligaciones del Proveedor frente a sus trabajadores y subcontratistas.

**Ejemplo:**

Al final se concluye con la desmovilización de equipos, de almacenes y se obtiene las constancias de no adeudos.

**6.3. Presentar un relatorio de Proyecto.**

Finalmente se termina con un relatorio de proyecto que permitirá que el conocimiento adquirido en los planes de mejora continua quede registrado, pasando a ser parte de la gestión del conocimiento de la empresa.

Este relatorio de obra debe incluir los ratios obtenidos (índice de productividad de mano de obra y equipos), los análisis de brechas, las lecciones aprendidas y los procesos constructivos importantes

#### IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS

La primera etapa de la investigación tuvo un carácter teórico para diseñar un plan que permita afrontar con éxito el reto que se proponía. Se partió como base el conocimiento de los estándares PMI, el cual nos dio una buena base para la planificación del proyecto y la experiencia de proyectos anteriores que se tenía.

Entre la variedad de metodologías que existen, se seleccionó el valor ganado, debido a que esta metodología permite monitorear en tiempo real, un proyecto y el Lean Construction debido a que esta metodología permite controlar y dar recomendaciones para la mejora continua del proyecto.

Dentro del valor ganado se le dio mucha importancia al índice de desempeño del cronograma, y siendo la mano de obra el recurso más importante en esta clase de proyectos, se llevó a horas ganadas versus horas planificadas. También se le dio mucha importancia al índice de desempeño del costo, llevándolo a la relación de las horas ganadas versus las horas gastadas, estos dos indicadores junto a los índices de productividad se mostraban en un panel gerencial semanalmente y nos permitía tener el status real del proyecto.

Dentro del lean construction se usaron técnicas como la carta balance para controlar la productividad de las actividades críticas del proyecto, el last planner (último planificador) y el análisis de restricciones para controlar el avance y el análisis de brechas para controlar el costo.

Para el análisis de brechas se usaron la técnica de los 5 por qué, del diagrama de Ishikawa para detectar las fuentes de una pérdida y las causas de incumplimiento, y la técnica del formato A3 para dar recomendaciones que ataquen las fuentes de las pérdidas. Este sistema de gestión no termina con las recomendaciones y su aplicación, sino que siendo su principal fundamento la mejora continua (Kaizen), su resultado que es el relatorio del proyecto es el inicio de otros proyectos.

La segunda parte fue poner este modelo a prueba en un reto que se presentó como fue la línea de transmisión y sacar recomendaciones para otros proyectos.

Se hizo una comparación (benchmark) a través de las mediciones del nivel general de actividad.

## V. RESULTADOS

1. El proyecto logró obtener un sistema de gestión basado en PMBOK y Lean Construction para aumentar la productividad, que puede ser generalizado para otros proyectos de la empresa de montaje pesado, de obras especiales, de edificaciones y de construcción en minería.
2. Se cumplió el alcance y se cobró lo que estaba fuera del alcance a través de los adicionales, para eso toda la línea de mando fue capacitada y evaluada sobre el conocimiento del alcance.
3. El proyecto logró cumplir el plazo de 6 meses.

El SPI llegó a ser mayor que 1 como se muestra a continuación:

Tabla 30

Resultados SPI

DESCRIPCION	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Planificado	55,190.52	800,952.46	1,874,292.42	3,140,555.88	4,496,714.53	5,464,522.91
Valor Ganado	0.00	666,298.14	1,861,162.03	3,137,897.39	4,594,020.80	5,467,926.10
Costo Real	60,565.00	793,492.95	2,107,843.23	3,256,905.05	4,567,416.12	5,413,321.42
	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Índice de Desempeño de Cronograma (SPI)	0.00	0.83	0.99	1.00	1.02	1.00

El último PPC obtenido fue 95%, eliminando causas de incumplimiento y por consiguiente pérdidas por tiempo de espera.

Tabla 31

Resultados última semana del PPC

PROGRAMADAS	EJECUTADAS	NO CUMPLIDAS	PPC SEMANAL
80	76	4	95.00%

(INTERF)	1.25%	1.00
(CLI-ING)	3.75%	3.00

**NO CUMPLIDAS**

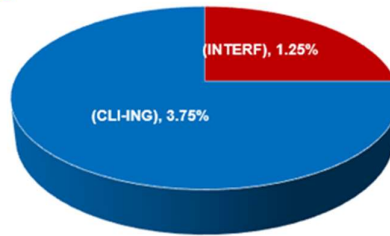


Figura 35. Diagrama de las causas de incumplimiento de la última semana

4. El proyecto termino dentro de los costos.  
El CPI fue mayor a 1 como se muestra a continuación:

Tabla 32  
Resultados CPI

DESCRIPCION	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Planificado	55,190.52	800,952.46	1,874,292.42	3,140,555.88	4,496,714.53	5,464,522.91
Valor Ganado	0.00	666,298.14	1,861,162.03	3,137,897.39	4,594,020.80	5,467,926.10
Costo Real	60,565.00	793,492.95	2,107,843.23	3,256,905.05	4,567,416.12	5,413,321.42
	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Indice de Desempeño de Cronograma (CPI)	0.00	0.84	0.88	0.96	1.01	1.01

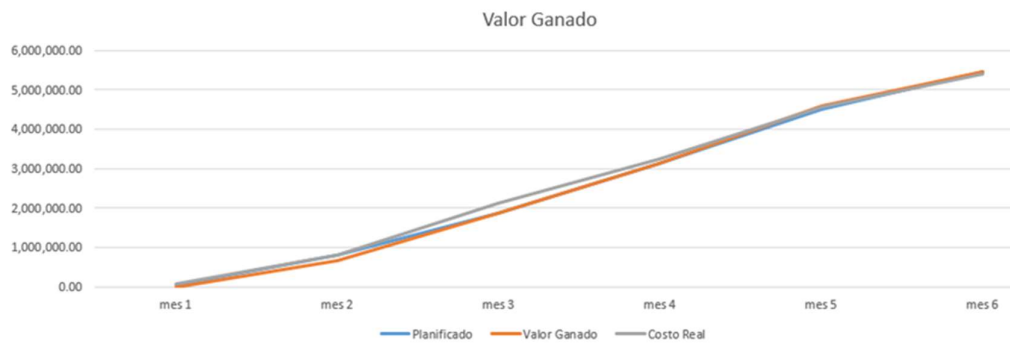


Figura 36. Gráfica de Valor Ganado de la Línea de Transmisión

El PF que es el CPI solo considerando horas fue superior a 1 en el último mes.

**Tabla 33**  
Resultados PF últimas semanas

	semana 23	semana 24	semana 25	semana 26
Horas Ganadas	37,859	4,637	4,020	3,831
Horas Gastadas	41,069	4,258	3,986	3,583
<b>PF</b>	<b>0.92</b>	<b>1.09</b>	<b>1.01</b>	<b>1.07</b>

- Los IPs de mano de obra y de equipos fueron superiores a los metas se logró el ratio de 7.5 torres por 1,050 horas, cuando el meta era de 5 torres, recuperando el atraso de las primeras semanas donde se estuvo obteniendo un ratio de 3 torres.
- Para los trabajos de preensamblaje, montaje y revisión con 386 observaciones (nivel de confianza de 95% y precisión de 5%) se obtuvo un trabajo productivo de 44% (inicialmente fue de 34%), un trabajo contributorio de 31% (inicialmente de 36%) y un trabajo no contributorio de 25% (inicialmente fue de 30%). Superior al 41% de trabajo productivo obtenido por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (CDT) entre el 2004-2012 en obras de montaje pesado.

Esto para una obra de construcción de líneas de transmisión es bastante por el trabajo en condiciones distintas que se tiene en líneas de transmisión. No se aplicó carta balance al tendido de línea por la gran dispersión de personal 1 o 2 por torre, en 20 o 30 torres y tampoco a la clasificación y traslado de torres.

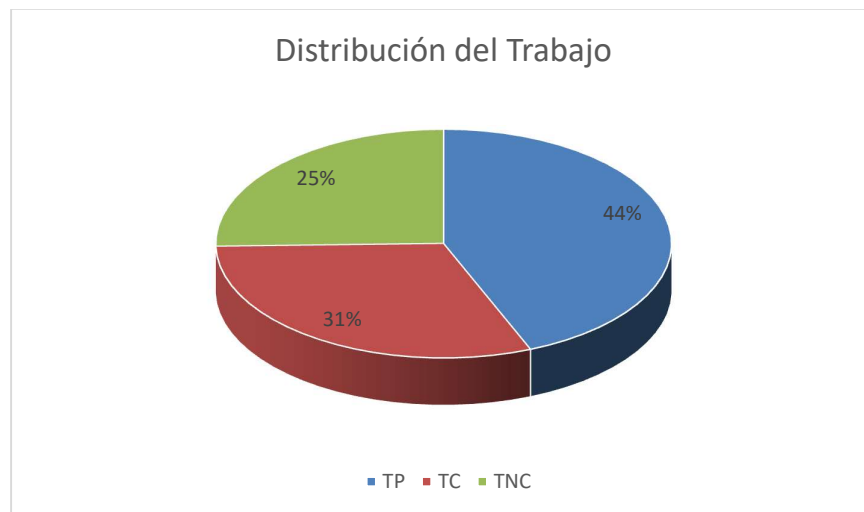


Figura 37. Trabajo productivo, contributorio y no contributorio.

7. Los recursos humanos del proyecto mejoraron sus capacidades profesionales sobre todo los ayudantes que pasaron de actividades contributorias a actividades netamente de producción como por ejemplo: regular los vientos de la pluma, eso fue gracias a la mejora de la capacitación y el entrenamiento. Asimismo se hizo un uso muy eficiente del personal especializado liniero. Finalmente se incentivó la polifuncionalidad, pero a la par se tenía mucho cuidado con la seguridad en el trabajo.
8. La gestión de adquisiciones se dio con justo a tiempo (just in time), siempre hubo disponibilidad de suministros, equipos, subcontratos claves y por eso las causas de incumplimiento finales fueron por la ingeniería del cliente y por las interferencias con otros subcontratistas.
9. La gestión de las comunicaciones y la información mejoró considerablemente, por eso la comunicación ya no fue una fuente importante de pérdidas, aunque siempre fue objeto de búsquedas de mejora, ejemplo: las charlas de inicio de jornada y de seguridad que antes eran largas y poco efectivas pasaron a ser precisas y altamente focalizadas.

## VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 1. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un sistema de gestión de proyectos basado en la filosofía Lean en una compañía de construcción mejorar su productividad, cumpliendo el alcance, el tiempo y los costos.
- Aplicando este sistema de gestión se puede cumplir el alcance y cobrar todo lo que estaba fuera del alcance a través de los adicionales.
- Aplicando este sistema se puede cumplir el plazo del proyecto, ya que la filosofía Lean permite que el proyecto fluya continuamente, esto a través del Last Planner (último planificador), el análisis de restricciones, el porcentaje de plan cumplido, la identificación de las causas de incumplimiento y las acciones para neutralizar esas causas.
- Identificar el camino del valor (value stream) sirvió para eliminar el desperdicio que surja, sobretodo sobrecostos en mano de obra, equipos, materiales, subcontratos y gastos generales. Se hace con el análisis de brechas para identificar las pérdidas, luego se identifican las fuentes de pérdidas y finalmente se toman acciones para neutralizar esas fuentes.
- La mayor cantidad de recomendaciones giraron en torno a una correcta planificación; y mejoras sustanciales en los recursos humanos, proceso de adquisiciones y gestión de las comunicaciones e información.
- Los recursos humanos mejoraron sus capacidades profesionales dentro del mismo proyecto, eso es importante ya de un proyecto a otro hay una alta rotación de personal y esto se puede convertir en una fuente de pérdida.
- El sistema de gestión permitió introducir el sistema jalar (Pull System) y el justo a tiempo (just in time) en el proceso de adquisiciones, con eso se logró reducir al mínimo el inventario.
- El sistema permitió la mejora de la gestión de las comunicaciones y la información, una de las fuentes de pérdidas más comunes al analizar los desperdicios.



## 2. RECOMENDACIONES

- La industria de la construcción es muy difícil de ser estandarizada, pero eso no implica dejar de aplicar la mejora continua, es más se tiene que tener más empeño en está.
- La búsqueda de pérdidas, la identificación de sus fuentes mediante el análisis de las causas raíces y el planeamiento de acciones de mejora continua debe ser continuo e imperante en todos los proyectos de la empresa, debe ser parte de la política de la empresa.
- El uso de planes A3 permitirá que el conocimiento adquirido quede registrado, se recomienda consolidarlos en el relatorio de obra, el cuál pasará a ser parte de la gestión del conocimiento de la empresa.
- Una vez que la mejora continua es parte de la política de la empresa, el siguiente paso es que sea parte de la cultura de la empresa, esto significa que todos los miembros de la empresa sometan todos los procesos de forma reiterada al análisis y mejoramiento.
- Se recomienda involucrar desde un inicio a la gerencia, ya que sin ello no se podrá lograr que este modelo de gestión sea parte de la cultura de la empresa.
- El siguiente modelo no es estático, la idea es que proyecto a proyecto sea mejorado.

## REFERENCIAS

- Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. *Lean Construction Journal*, 105-121.
- Alarcón, L. (2008). *Lean Construction*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Alarcón, L., Diethelm, S., Rojo, O., & Calderón, R. (2008). Assessing the Impacts of Implementing Lean Construction. *Revista Ingeniería de Construcción- Pontificia Universidad Católica de Chile*, 3(1), 26-33. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v23n1/art03.pdf>
- Ballard. (2000). *The Last Planner System Production Control*. United Kingdom: University of Birmingham.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. (Tesis doctoral). Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.107.4520&rep=rep1&type=pdf>
- Ballard, G., & Koskela, L. (2011). A response to critics of lean construction. *Lean Construction Journal*, 13-22.
- Banco Central de Reserva del Perú [BCRP]. (II trimestre 2017). *Indicadores Económicos*. Lima: Autor.
- Céspedes, Aquije, Sánchez, & Vera-Tudela. (2014). Productividad Sectorial en el Perú: Un análisis a nivel de firma. *Revista Estudios Económicos BCR*, 1-18.
- Céspedes, N., Lavado, P., & Ramírez, N. (2016). *Productividad en el Perú: medición, determinantes e implicancias*. Lima, Perú: Universidad del Pacífico.
- Court, P., Pasquire, C., & Gibb, A. (2009). A lean and gile construction system as a set of countermeasures to improve health, safety and productivity in mechanical and electrical construction. *Lean Construction Journal*, 61-76.
- González, M. (2012). *Análisis del impacto en la productividad de diferentes proyectos de construcción a través de la implementación del sistema Last Planner evaluado mediante un sistema basado en indicadores*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Howel, & Ballard. (1997). Shielding Production: An Essential Step in Production. *Lean Construction Journal*, 1-17.
- Johansen, E., & Walter, L. (2007). Lean Construction: Prospects for the German. *Lean Construction Journal*, 10(10), 19-32.

- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Technical Report Number 72 ed.). Finland: Laboratory for Urban Planning and Building Design. Obtenido de <https://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR072.pdf>
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Finland: Helsinki University of Technology .
- Krugman, P. (1997). *The age of diminished expectations* (2da. ed.). Cambridge, Massachusetts: MIT press.
- Leal, M. (2010). *Impactos de la implementación del sistema Last Planner en obras de montaje industrial en minería* (Tesis de maestría ed.). Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1398/553816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos para la dirección de proyectos* (5ta. ed.). Newtown Square, Pensilvania: Project Management Institute, Inc.
- Sanchis, I. (2013). *Last Planner System: un caso de estudio*. Valencia- España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Senaratne, S., & Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a Strategic Option: Testing its Suitability and Acceptability in Sri Lanka. *Lean Construction Journal*, 34-48. Obtenido de [https://www.leanconstruction.org/media/docs/ktll-add-read/Lean\\_Construction\\_as\\_a\\_Strategic\\_Option\\_Testing\\_its\\_Suitability\\_and\\_Acceptability\\_in\\_Sri\\_Lanka.pdf](https://www.leanconstruction.org/media/docs/ktll-add-read/Lean_Construction_as_a_Strategic_Option_Testing_its_Suitability_and_Acceptability_in_Sri_Lanka.pdf)
- Womack. (2002). Lean Thinking: Where Have We Been and Where Are We Going? *Forming and Fabricating*, 1-5.