

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN DE TUBERÍAS *UNDERGROUND*”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

RUTH MERY PACHECO QUISPE

ASESOR:

MgSc. Ing. HEMERSON LIZARBE ALARCON

AYACUCHO – PERU

2016

PRESENTACIÓN

La presente tesis “Implementación de la Filosofía *Lean Construction* en proyectos de construcción de tuberías *underground*”, es una contribución a la investigación en el área de construcción. Esta investigación es producto de la búsqueda de dar solución al problema de entregar el proyecto de construcción en el tiempo que solicita el cliente con el costo y calidad que él espera. Para cumplir con tal propósito se plantea el uso de *Last Planner System* - para mejorar la confiabilidad de la programación - y el buen manejo de la variabilidad. Espero que esta investigación sirva de apoyo a todos los profesionales y estudiantes inmersos en el área de construcción.

DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino y cuidar de mí. A mis padres, Alejandro Pacheco Quispe y Maximiliana Quispe Torres quienes me apoyaron y confiaron en mí de manera incondicional. A mis hermanos y de manera especial a Alex por su paciencia, comprensión y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por ser mi motivación en el camino emprendido, por sus enseñanzas y consejos. Gracias por confiar en mí.

Al ingeniero Hemerson Lizarbe Alarcón, por su apoyo incondicional y por hacer posible el presente trabajo de investigación y sobre todo por ser mi asesor.

A los ingenieros Cristian Castro, Norbert Quispe, Ernesto Estrada, Jaime Bendezú y a todos los ingenieros de la escuela de formación profesional de ingeniería civil.

Al ingeniero Alex Chipana Soto por su colaboración en la presente tesis. Gracias por tu apoyo.

A mis hermanos por sus constantes alientos para llevar a cabo la presente tesis, en especial a mi hermana Edith Pacheco y Kennedy Pacheco.

INDICE

| CAPITULO I : ANTECEDENTES | Pág. |
|---|-------------|
| 1.1 Planteamiento del problema | 1 |
| 1.1.1 Problema principal | 2 |
| 1.1.2 Problema secundario | 2 |
| 1.2 Justificación de la investigación | 3 |
| 1.3 Importancia de la investigación | 4 |
| 1.4 Hipótesis de la investigación | 4 |
| 1.4.1 Hipótesis general | 4 |
| 1.4.2 Hipótesis específicos | 5 |
| 1.5 Objetivos de la investigación | 5 |
| 1.5.1 Objetivo general | 5 |
| 1.5.2 Objetivos específicos | 5 |
| 1.6 Metodología del trabajo de investigación | 6 |
| | |
| CAPITULO II : ESTADO DEL ARTE | |
| 2.1 La nueva filosofía de producción. | 7 |
| 2.2 Pilares del sistema de producción Toyota. | 8 |
| 2.2.1 Just-in-Time (JIT) | 8 |
| 2.2.2 Jidoka (Automático) | 9 |
| 2.2.3 Kaizen | 9 |
| 2.3 Muda o Desperdicio | 10 |
| 2.3.1 Los siete tipos de desperdicio | 11 |
| 2.4 Lean Construction | 16 |
| 2.4.1 Modelo de conversiones de procesos | 18 |
| 2.4.2 Modelo de flujo de procesos | 19 |
| 2.4.3 Productividad | 20 |
| 2.4.4 Gestión de la producción | 22 |
| 2.5 Lean Project Delivery System (LPDS) | 31 |
| 2.6 Integrated Project Delivery (IPD) | 33 |
| 2.7 Building Information Modeling (BIM) | 34 |
| 2.7.1 Introducción | 34 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.7.2 | Modelado en 3D | 37 |
| 2.7.3 | Modelado en 4D | 37 |
| 2.7.4 | Modelado en 5D | 38 |
| 2.7.5 | Modelado en 6D | 38 |
| 2.8 | Diagrama de flujo | 38 |
| 2.8.1 | Tipos de elementos representados | 38 |
| 2.8.2 | Uso de diagramas de flujo | 38 |
| 2.9 | Last Planner System (LPS) | 39 |
| 2.9.1 | Master Schedule | 41 |
| 2.9.2 | Pull Planning | 41 |
| 2.9.3 | Lookahead Planning: Programación Lookahead | 44 |
| 2.9.4 | Weekly Work Planning: Programación Semanal | 45 |
| 2.10 | Standart Work | 52 |
| 2.10.1 | Takt Time | 52 |
| 2.10.2 | Line Balancing | 53 |
| 2.10.3 | Work Sequence | 57 |

CAPITULO III : IMPLEMENTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.1 | Proyecto en estudio | 58 |
| 3.1.1 | Ubicación del proyecto | 60 |
| 3.1.2 | Características de la localidad | 62 |
| 3.2 | Aplicación de Lean Construction al caso de estudio | 65 |
| 3.2.1 | Estructura Disgregada del Trabajo (WBS) | 65 |
| 3.2.2 | Entregable | 65 |
| 3.2.3 | Building Information Modeling (BIM) | 73 |
| 3.2.4 | Diagrama de flujo | 77 |
| 3.2.5 | Last Planner System – Etapa de Planeamiento | 79 |
| 3.2.6 | Last Planner System – Etapa de Ejecución | 83 |
| 3.3 | Análisis de Costo | 102 |

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 4.1 | Conclusiones. | 106 |
| 4.2 | Recomendaciones | 107 |

BIBLIOGRAFIA
ANEXOS

109

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Objetivos para lograr un sistema de producción efectivo | 22 |
| Tabla 2. Modelo de entregable de la disciplina piping – sistema de agua contra incendios. | 67 |
| Tabla 3. Sistemas del proyecto minero Las Bambas-disciplina piping | 68 |
| Tabla 4. Detalle de datos de las primeras 13 semanas | 97 |
| Tabla 5. Causas de no cumplimiento semanal. | 99 |
| Tabla 6. Detalle de causas de no cumplimiento semanal. | 100 |
| Tabla 7. Causas de no cumplimiento acumulado. | 101 |
| Tabla 8. Detalle de causas de no cumplimiento acumulado | 101 |
| Tabla 9. Costo real total de ejecución desde julio de 2013 hasta agosto de 2015. | 103 |
| Tabla 10. Costo total aplicando Lean Construction. | 104 |
| Tabla 11. Resultado de las tres formas de ejecución para la instalación | 105 |
| Tabla 12. Comparación de costos entre la ejecución | 105 |
| Tabla 13. Comparación de costos entre la ejecución real | 105 |

| INDICE DE FIGURAS | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Sistema de producción toyota (SPT) | 8 |
| Figura 2. Círculo de Deming | 10 |
| Figura 3. Modelo de conversión de procesos | 18 |
| Figura 4. Modelo de flujo de procesos | 19 |
| Figura 5. Termofusionado de tubería. | 20 |
| Figura 6. Habilitación de la máquina de termofusión. | 21 |
| Figura 7. Esperas-descansos. | 21 |
| Figura 8. Flujo continuo en el proceso de producción. | 23 |
| Figura 9. Capacidad del sistema y cuello de botella. | 26 |
| Figura 10. Comparación entre push y Pull. | 27 |
| Figura 11. Comparación entre lotes grandes y lotes pequeños. | 28 |
| Figura 12. Eficiencia local. | 29 |
| Figura 13. Eficiencia del sistema. | 29 |
| Figura 14. Flujo eficiente entre los procesos. | 29 |
| Figura 15. Procesos eficientes. | 31 |
| Figura 16. Estructura de trabajo según LPDS. | 32 |
| Figura 17. Modelo de Integrated Project Delivery. | 33 |
| Figura 18. Índice de productividad en la industria de la construcción comparado con otras industrias no agrícola (1964-1999). | 35 |
| Figura 19. Modelo3D: proyecto minero Las Bambas. | 37 |
| Figura 20. Secuencia para crear y mantener confiable el flujo de trabajo. | 40 |
| Figura 21. Etapas de planificación / Niveles en Last Planner System. | 41 |
| Figura 22. Secuencia de la etapa del Lookahead. | 45 |
| Figura 23. Esquema del último planificador. | 46 |
| Figura 24. Técnicas y procesos en Last Planner System. | 46 |
| Figura 25. Mapa de procesos de Last Planner System. | 48 |
| Figura 26. Desarrollo de la programación. | 49 |
| Figura 27. Formato para hacer el balanceo de carga de metrado y personas. | 55 |
| Figura 28. Procedimiento a seguir para el llenado de la plantilla. | 55 |
| Figura 29. Este formato se utilizara cuando nuestro proyecto presenta demasiada variabilidad. | 56 |
| Figura 30. Secuencia de llenado del formato. | 57 |
| Figura 31. Vista Panorámica de la planta concentradora Las Bambas. | 58 |
| Figura 32. Vista aérea del proyecto minero Las Bambas. | 60 |
| Figura 33. Ubicación del proyecto Las Bambas. | 60 |
| Figura 34. Acceso al proyecto Minero Las Bambas desde la ciudad de Cusco. | 61 |
| Figura 35. Cronología del proyecto Las Bambas. | 62 |

| | |
|--|----|
| Figura 36. Condiciones climáticas del proyecto minero Las Bambas. | 63 |
| Figura 37. Población de las zonas de influencia del proyecto Minero Las Bambas. | 63 |
| Figura 38. Geología del proyecto minero Las Bambas. | 64 |
| Figura 39. Topografía del proyecto minero Las Bambas. | 65 |
| Figura 40. Organigrama-disciplina piping. | 72 |
| Figura 41. Reuniones diarias de la disciplina Piping. | 73 |
| Figura 42. Detalle de una línea de servicio en el | 74 |
| Figura 43. Modelo de la planta concentradora Las Bambas en SmartPlant. | 74 |
| Figura 44. Avance de la planta concentradora Las Bambas al 90%. | 74 |
| Figura 45. Interferencia entre tuberías de contraincendios y drenaje. | 75 |
| Figura 46. Interferencia entre tuberías de contraincendios, drenaje y | 76 |
| Figura 47. Interferencia entre tuberías de contraincendios, cajón de concreto y otras tuberías de otros servicios. | 77 |
| Figura 48. Diagrama de flujo de la distrución de agua contraincendios. | 78 |
| Figura 49. Plano de planta del sistema de agua contraincendios. | 79 |
| Figura 50. Master Schedule de agua de procesos, contraincendios, potable y almacenamiento. | 80 |
| Figura 51. Detalle de posit-its en Pull Planning. | 81 |
| Figura 52. Reunión de Pull Planing. | 82 |
| Figura 53. Etapas para ejecutar la instalación del sistema de agua contraincendios. | 84 |
| Figura 54. Sectorización del sistema de agua contraincendios según las etapas. | 84 |
| Figura 55. Detalles del balanceo de cargas de trabajo. | 85 |
| Figura 56. Balanceo de número de personas teniendo en cuenta el metrado. | 86 |
| Figura 57. Resultado del balanceo. | 87 |
| Figura 58. Eficiencia obtenida. | 88 |
| Figura 59. Curva de personal en obra obtenida. | 88 |
| Figura 60. Tren de trabajo. | 89 |
| Figura 61. Detalle de la distribución de asignaciones en una jornada de trabajo. | 90 |
| Figura 62. Trazo topográfico de la tubería. | 90 |
| Figura 63. Excavación y control de excavación para instalar la tubería. | 91 |
| Figura 64. Termofusionado de la tubería. | 91 |
| Figura 65. Prueba hidrostática de la tubería termofusionada. | 91 |
| Figura 66. Instalación de la tubería. | 92 |
| Figura 67. Relleno de la excavación. | 92 |
| Figura 68. Ventana de tiempo del Lookahead. | 93 |
| Figura 69. Análisis de restricciones. | 93 |
| Figura 70. Programación semanal. | 94 |
| Figura 71. Programación semanal. | 94 |
| Figura 72. Análisis del porcentaje de plan cumplido (PPC). | 96 |

| | |
|--|-----|
| Figura 73. Evolución del programa de plan cumplido (PPC). | 97 |
| Figura 74. Tipo de causa de no cumplimiento semanal. | 99 |
| Figura 75. Detalle de causa de no cumplimiento semanal. | 100 |
| Figura 76. Tipo de causas de no cumplimiento | 101 |
| Figura 77. Detalle de causas de no cumplimiento acumulado. | 102 |
| Figura 78. Resultado de la cantidad de personas necesarias para la ejecución del primer sector | 103 |

RESUMEN

La mayoría de los proyectos de construcción en el Perú presentan problemas en terminar a tiempo la ejecución de la obra, desfasándose tanto en el costo previsto que fue calculado inicialmente como la baja calidad al hacer la entrega de la obra. Es por ello que la presente tesis tiene por objetivo implementar la Filosofía Lean Construction y aplicar sus herramientas de gestión en la programación, ejecución y control del proyecto para corregir estos problemas.

La investigación “Implementación de la Filosofía *Lean Construction* en proyectos de construcción de tuberías *underground*”, es aplicado a un sistema de agua contraincendios de una planta concentradora el cual fue ejecutado por la empresa Graña y Montero que no dudo en implementar la filosofía Lean Construction en este proyecto debido a los buenos resultados obtenidos en el sector de edificaciones; sin embargo dejó de implementar esta filosofía debido a la complejidad del proyecto como el manejo de personal (más de 9,000 trabajadores), coordinación con más de 12 subcontratistas, condiciones climáticas adversas, huelgas, etc. y sobre todo por ser un proyecto de tipo “fast track” (vía rápida), donde la ingeniería y construcción se realizan en paralelo.

El propósito de la presente tesis es hacer ver que la filosofía lean Construction puede ser aplicado a otras áreas de construcción diferente a edificaciones donde varias empresas vienen aplicándola obteniendo buenos resultados. De esta manera se espera que la presente tesis puede servir de base para otros proyectos de construcción como: proyectos de saneamiento, redes de alcantarillado, instalación de tuberías para riego, instalación de todos los servicios de agua, aire, aceite para una planta concentradora, para la instalación de tuberías de gas y otros químicos. También puede servir para proyectos de carretera y canales esto por la similitud de linealidad que tienen con las tuberías.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se comparte información y se investiga temas relacionados a *Lean Construction* por una red de profesionales y empresas que forman El Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) a nivel mundial y en el Perú por el Instituto del Lean Construction (ILC) y el Capítulo Peruano de Lean Construction Institute (CPLCI).

El presente trabajo de investigación “Implementación de la Filosofía Lean Construction en proyectos de construcción de tuberías underground” demuestra que se pueden mejorar los resultados obtenidos ejecutados tradicionalmente

La tesis está dividido en cinco capítulos, en el primer capítulo se sustenta todos los motivos por el cual se lleva a cabo el desarrollo del presente trabajo de investigación como por ejemplo la baja productividad, plazos de ejecución excedidos, re-trabajos, etc.

Para el desarrollo del segundo capítulo se toma como referencia el modelo de producción TOYOTA conocido como “*Lean Production*” y su aplicación al sector construcción conocido como “*Lean Construction*”, se presenta las diferencias entre un sistema de producción tradicional y producción Lean. Finalmente se da a conocer las herramientas que nos ofrece Lean Construction como el *Building Information model*, *Value stream mapping* (diagrama de flujo), teoría de restricciones (tren de trabajo y sectorización) y control de la variabilidad mediante el uso de *last planner system* y buffers.

En el capítulo 3 se aplica las herramientas de la filosofía *Lean Construction* a un caso práctico de instalación de tuberías *underground* para un sistema de agua contraincendios. También se hace un comparativo de costo que demanda la ejecución aplicando *Lean Construction* y la ejecución de forma tradicional.

Finalmente en el capítulo 4 se da a conocer las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos después de haber implementado la filosofía *Lean Construction* y acorde a los objetivos propuestos inicialmente.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la construcción es uno de los sectores que menor grado de desarrollo presenta en la mayoría de los países latinoamericanos, convirtiéndose en una actividad caracterizada por grandes deficiencias y falta de efectividad. Lo que se traduce en la poca competitividad y coloca a las empresas constructoras en desventaja frente a los mercados de economía internacional.

El sector de la construcción presenta características únicas que explican, aunque no justifican, el grado de desarrollo en que se encuentra: curva de aprendizaje limitada, trabajo permanente bajo presión, fragmentación de los proyectos, incumplimiento del plazo de ejecución de la obra, poca capacitación de los involucrados, relaciones opuestas entre los participantes del proyectos, deficiente planificación o ausencia de las mismas, actividad basada en la experiencia, falta de investigación y desarrollo.

Ahora en estos tiempos los ingenieros debemos estar preparados para competir con países norteamericanos y europeos. Esto porque tenemos:

- Mercados Globalizados más competitivos.
- Los proyectos son cada vez más complejos, que requieren la aplicación de nuevas tecnologías.
- Empresas que ahora requieren mayores exigencias de calidad.
- Presión para la reducción de plazos y costos de los proyectos.

El presente trabajo de investigación es aplicado al Proyecto Minero Las Bambas, disciplina *piping*, específicamente en la instalación de tuberías *underground* para el sistema de agua contraincendios, donde se observó muchas pérdidas, tanto en la utilización de materiales por exceso de inventario, defectos, rechazos y falta de control de los procesos constructivos a tiempo, así como pérdidas en los tiempos de mano de obra y equipo o por excesos de movimiento, tiempos de espera, transportes internos, generando sobrecostos importantes. Para dar solución a todo lo mencionado aplicaremos e implementaremos la filosofía *Lean Construction*, que se enfoca a aumentar el valor del producto a partir de la eliminación de cualquier actividad que no genere valor para el cliente, conocido como pérdida. *Lean Construction* se orienta a cambiar el pensamiento de la industria de la construcción tradicional impulsándola a desarrollar innovadoras estrategias y formas de trabajar a través de la aplicación de herramientas *Lean* en los sistemas de gestión y planificación de las actividades, buscando permanentes aumentos en el valor de los mismos, mediante la optimización del uso de recursos, tiempos y costos.

Para implementar la filosofía *Lean Construction* para la instalación de tuberías *underground* para el sistema de agua contraincendios del Proyecto Minero Las Bambas es necesario identificar todo tipo de pérdidas que se presentaron en la ejecución mediante el uso de las herramientas *Lean*, lo cual implica hacer cambios en la organización.

1.1.1. Problema principal

¿Cómo identificar y eliminar desperdicios, reducir los tiempos de entrega y la variabilidad en proyectos de construcción lineal?

1.1.2. Problemas secundarios

- ¿Cómo afecta a la productividad la implementación de la filosofía *Lean Construction*?

- ¿Cómo superar la ausencia de control y seguimiento de la planificación y programación en la ejecución de las actividades?
- ¿Cuál es el efecto que tendrá el proyecto de construcción al aplicar el *Building Informatizo Modeling* (BIM)?
- ¿Cuál será el impacto en tiempo y costo entre una construcción tradicional y aplicando *Lean*?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el Perú la filosofía *Lean Construction* es aplicado generalmente en proyectos de edificación, viviendas de interés social, centros comerciales y los resultados han sido favorables. En el presente trabajo de investigación se propone aplicar *Lean Construction* para la instalación de tuberías *underground*, un proyecto lineal a comparación de una edificación donde se tienen actividades repetitivas por piso y la variabilidad es manejable. Aplicarlo a un proyecto lineal es interesante porque podemos encontrar bastante variabilidad como el tipo de suelo variable, geometría lineal cambiante, interferencias de diferente tipo a medida que se avanza, entre otros. Esto se hace más complejo si los trabajos se ejecutan a una altura de más de 4,000 msnm, porque están propensos a condiciones climáticas adversas y en el Perú hay varios proyectos que tienen una geometría lineal y a la vez ejecutada a esta altura, estos proyectos de geometría lineal pueden ser: instalación de tuberías, canales, carreteras, etc. y el presente trabajo de investigación puede servir de base para aplicar a otros proyectos que tengan similitud de geometría lineal.

Es importante para un ingeniero civil tener conocimiento de la Filosofía *Lean Construction* para estar a la vanguardia con los avances tecnológicos y ser competitivos en el mercado.

1.3. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

La construcción como sector productivo de nuestro País, es de gran importancia en el desarrollo económico, ya que su dinámica, es motor que impulsa permanentemente el progreso de nuestra sociedad.

A través de la construcción se da respuesta a las necesidades de la población y para cumplir con estas necesidades observando desde un panorama macronacional debemos entender primero que la mayoría de los proyectos de construcción se ejecutan de manera tradicional generando sobrecostos y tiempo de entrega más allá de lo esperado, esto debido a que las empresas gestoras de los proyectos desconocen o en mejor de los casos no comprenden bien los beneficios de la filosofía *lean Construction* ya que las investigaciones realizadas generalmente están enfocadas a proyectos de edificación.

Es por ello que la presente investigación “Implementación de la Filosofía *Lean Construction* en Proyectos de Construcción de Tuberías *Underground*” esta enfocada a aquellos proyectos de construcción lineal que brindan el sustento necesario para que, basados en esta información, podamos adecuarlo a otros proyectos de construcción y así lograr cambios en el sistema de producción logrando identificar los desperdicios para reducirlos o eliminarlos y de esta manera ver que los proyectos pueden ejecutarse de manera más acelerada y con un menor costo del que viene dándose hasta el momento y así poder construir la mayor cantidad de proyectos de saneamiento y/o carreteras.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación de la Filosofía *Lean Construction* en proyectos de construcción lineal, como sistema de agua contraincendios, saneamiento y/o carretas, nos permitirá identificar los desperdicios y manejar la variabilidad para reducir los costos y tiempos de entrega del proyecto.

1.4.2. Hipótesis específicos

- La implementación de la Filosofía *Lean Construction* nos permitirá identificar las pérdidas en los flujos y conversión de procesos.
- Mediante los indicadores del PPC (Porcentaje de Plan Cumplido) y Análisis de Restricciones de la herramienta *Last Planner System* se puede hacer el control y seguimiento de la ejecución de las actividades.
- La aplicación del *Building Information Modeling* (BIM) mediante el uso del software SmartPlant en la ejecución de las actividades nos permitirán identificar a tiempo conflictos e interferencias con otras disciplinas.
- La diferencia en tiempo y costo entre la construcción tradicional y aplicando *Lean* favorece a este último.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Implementar la Filosofía *Lean Construction* y aplicar sus herramientas de gestión en la programación, ejecución y control de un proyecto de construcción del tipo lineal.

1.5.2. Objetivos específicos

- Conocer los conceptos de flujo y conversión en la construcción.
- Aplicar la herramienta *Last Planner System* para asegurar el flujo de la construcción.
- Aplicar BIM mediante el software SmatPlant en la construcción para evitar problemas de interferencias y ver el alcance del proyecto.
- Hacer una comparación en tiempo y costo entre una construcción tradicional y una construcción aplicando *Lean Construction*.

1.6. METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación desarrollada está clasificada en un enfoque mixto (analítico y cuantitativo), porque utiliza la recolección de datos de tipo descriptivo, observatorio y numéricos para probar la hipótesis, mediante la implementación de la filosofía *Lean Construction*. Para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de investigación se seguirán los siguientes pasos:

- a. Se hará una revisión de la literatura del modelo tradicional de construcción y el cambio de modelo de producción en el Perú.
- b. Se aplicara la investigación descriptiva, explicativa y documental para desarrollar el estado del arte de la presente tesis.
- c. El trabajo de investigación se aplicara a un sistema de agua contraincendios para la planta concentradora del Proyecto Minero Las Bambas, de ésta se tomara toda la información necesaria.
- d. Tomando en cuenta toda la información disponible se hará un análisis exploratorio, con fines de presentar los problemas.
- e. El cambio y la mejora de la producción en la instalación de tuberías *underground* para un sistema de agua contraincendios se hará con la implementación de la filosofía *Lean Construction*.
- f. Una vez realizada la implementación de la Filosofía *Lean Construction* se hará una comparación con el sistema tradicional en tiempo y costo.
- g. Finalmente se hará la discusión de los resultados y se presentara las conclusiones, recomendaciones para futuros trabajos de investigación.

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 LA NUEVA FILOSOFÍA DE PRODUCCIÓN

La filosofía *Lean Construction* tiene sus inicios en el SPT con *Lean Production* o *Lean Manufacturing*. La compañía Toyota se volvió exitosa después de la segunda guerra mundial, cuando los dueños de la fábrica japonesa adoptaron técnicas de producción y calidad estadounidenses, estas eran técnicas de manufactura de Henry Ford y Edwards Deming respectivamente, las cuales se convirtieron en las bases del proceso de producción Toyota. Pero a diferencia de la industria automotora americana, Toyota alentó a los empleados a ser parte del proceso de producción y con respecto a la calidad implementaron el círculo de Deming la cual estaba integrada por un grupo de trabajadores.

A diferencia del método de producción de Ford, Toyota desarrollo la producción en lotes más pequeños, el cual era acompañado por un conjunto de procedimientos que le permitía reducir el tiempo para las instalaciones y cambios.

Estudios indican que si se tiene un proceso de manufactura obsoleta el nivel de desperdicio puede llegar al 90% y que al adoptar los procesos del *Lean Manufacturing*, el desperdicio producido puede reducirse a un 25% a 35%.
(Shujel, 2012)

Esto implica el manejo de materiales, inventario, calidad y satisfacción del cliente.

2.2 PILARES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN TOYOTA

El SPT está compuesto por dos pilares: *el just-in-time* (JIT) y el *Jidoka* que se sustenta y perfecciona a través de iteraciones de trabajo estandarizado y *kaizen* o mejora continua, seguido de un plan de acción a través de un *PDCA*¹ (Planificar, Hacer, Revisar y Actuar) (Pons Achell, 2014, p.15).

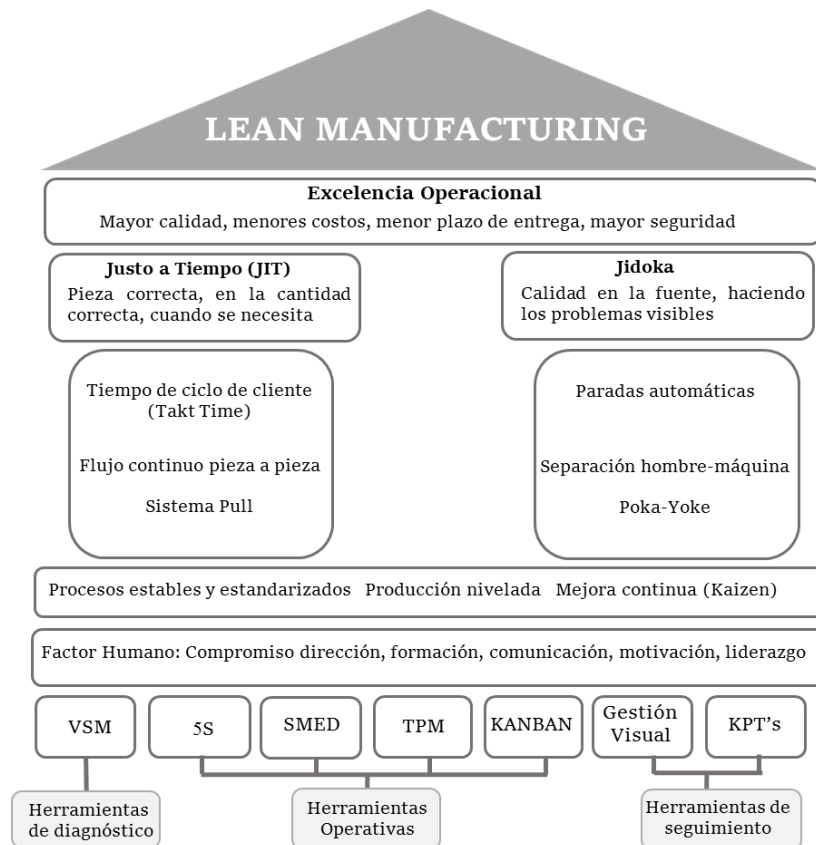


Figura 1. Sistema de producción toyota (SPT)

Fuente: Bonilla, E. (2015). *Estructura del Sistema Lean*. Recuperado de: <http://leanproyecto.blogspot.pe/>

2.2.1. Just-in-Time (JIT): Es una filosofía industrial que consiste en fabricar los productos estrictamente necesarios, en el momento preciso y en las cantidades debidas, es decir, hay que comprar o producir solo lo que se necesita y cuando se necesita. (Edward J, 2003, p.8)

¹ PDCA, Son siglas en ingles de las abreviaturas Plan, Do, Check y Act que en castellano significan Plan, Hacer, Verificar y Actuar respectivamente.

Antes de implementar el *just-in-time* en las empresas norteamericanas, se observó que ellos se dedicaban a planear y replantear la fabricación, a incrementar la automatización y producir en masa quitando la importancia de la calidad de sus productos y procesos lo cual generaba considerables desperdicios; y al aplicar el *just-in-time* pudieron identificar y evidenciar los problemas, eliminando los desperdicios, simplificando la producción y centrándose en la demanda.

Según estudios indican que al existir inventarios de reservas se ocultan los problemas y se ofrecen a los fabricantes otras maneras de adaptarse a éstos sin necesidad de resolverlos, sin embargo el *just-in-time* propone la eliminación de inventario y de más cosas que puedan ser una carga para la empresa como: reprogramaciones, conteos, transporte y para el logro de nuestros propósitos se busca hacer las cosas bien a la primera vez y así evitar saturación en la operación lo cual complica el flujo de proceso.

2.2.2. Jidoka (Automático): Es una filosofía incluida en *Lean Manufacturing*, la cual busca que cada proceso tenga su propio autocontrol de calidad (referidos principalmente a procesos industriales de producción en línea o a gran escala). Este método no funciona solamente corrigiendo una irregularidad puntual, sino que investiga la causa raíz, permitiendo eliminarla y evitando su repetición en el futuro. Una vez se detecta el problema, se para la producción hasta encontrar una solución rápida. Al parar la producción en una línea, no es necesario parar la producción en toda la planta: En realidad esta se puede distribuir en otras secciones de forma que cuando se detecte un problema las otras líneas sigan produciendo mientras se resuelve definitivamente el problema en la línea afectada (Gonzalez, 2015).

2.2.3. Kaizen: Es una filosofía de mejoramiento continuo y se compone de varios pasos que nos permiten analizar variables críticas del proceso de

producción y buscar su mejora en forma diaria con la ayuda de equipos multidisciplinarios.

El *Kaizen* utiliza el Círculo de Deming como herramienta para la mejora continua. Este círculo de Deming también se le llama *PDCA* por sus siglas en inglés.

2.2.3.1. Plan (Planear): En esta fase el equipo pone su meta, analiza el problema y define el plan de acción

2.2.3.2. Do (Hacer): Una vez que tienen el plan de acción este se ejecuta y se registra.

2.2.3.3. Check (Verificar): Luego de cierto tiempo se analiza el resultado obtenido.

2.2.3.4. Act (Actuar): Una vez que se tienen los resultados se decide si se requiere alguna modificación para mejorar.



Figura 2. Círculo de Deming

Fuente: Mendoza, L. (s.f.). *Sistemas de Información III Teoría*. [Diapositivas de PowerPoint].

2.3 MUDA O DESPERDICIO

“También conocido como *waste* (terminología anglosajona) o *muda* (terminología japonesa)...” (Cuatrecasas, 2010, p.107), es cualquier actividad o consumo de recursos que no aporte valor agregado (algo que valora el cliente).

En el 2010, Cuatrecasas indico que la sobreproducción se considera el mayor de todos y la fuente de todo desperdicio, que implica producir más allá de lo necesario, sea cual sea el motivo. La sobreproducción puede acarrear, en efecto, otros desperdicios tales como el stock o acumulación de material parado, esperas –sobre todo en los materiales, pero también en los puestos de trabajo-, transportes y movimientos de personal innecesarios, actividades de manipulación o de otro tipo que no debieran ser necesarias e incluso, problemas de calidad. (p.109)

2.3.1 Los siete tipos de desperdicios

Para proceder a eliminar o reducir al máximo, los desperdicios, será necesario conocer qué actividades pueden considerarse como desperdicios. Toyota las clasifico en siete tipos esenciales.

1. Sobreproducción
2. Proceso Inadecuado
3. Stocks
4. Transportes
5. Movimientos
6. Esperas
7. Defectos de Calidad

2.3.1.1. Sobreproducción:

“La producción en exceso supone anticipar producto no solicitado aún y redundante en costo de personal, energía y otros relacionados con la producción, stocks y espacio ocupado innecesariamente...” (Cuatrecasas, 2010, p.111). “Por tanto lo correcto es producir exclusivamente el producto, en la cantidad, clase y calidad que se solicita...” (Cuatrecasas, 2010, p.111). El tamaño de los lotes de producción debe ser el demandado en cada momento y es conveniente también alternar pequeños lotes de producción para ir atendiendo con rapidez cada variante del producto y sin incurrir en gastos innecesarios en stocks, personal y tiempo.

Las principales causas de la sobreproducción son (Menéndez, 2014):

- Una lógica “*just-in-case*”: producir más de lo necesario “por si acaso”.
- Hacer un mal uso de la automatización y dejar que los equipos trabajen al máximo de su capacidad.
- Una mala planificación de la producción.
- Una distribución de la producción no equilibrada en el tiempo.

2.3.1.2. Proceso inadecuado o sobreproceso:

Hacer un trabajo extra sobre un producto es un desperdicio que debemos eliminar, y que es uno de los más difíciles de detectar, ya que muchas veces el responsable del sobreproceso no sabe que lo está haciendo. Por ejemplo: limpiar dos veces, o simplemente, hacer un informe que nadie va a consultar.

Las posibles causas de este tipo de pérdidas son (Menéndez, 2014):

- Una lógica “*just-in-case*”: hacer algo “por si acaso”.
- Un cambio en el producto sin que haya un cambio en el proceso.
- Los requerimientos del cliente no son claros.
- Una mala comunicación.
- Aprobaciones o supervisiones innecesarias.
- Una información excesiva que haga hacer copias extra.

2.3.1.3. Stocks o inventario:

Se refiere al stock acumulado por el sistema de producción y su movimiento dentro de la obra, que afecta tanto a los materiales, como piezas en proceso, como producto acabado. Este exceso de materia prima, trabajo en curso o producto terminado no agrega ningún valor al cliente, pero muchas empresas utilizan el inventario para minimizar el impacto de las ineficiencias en sus procesos. El inventario que sobrepase lo necesario para cubrir las necesidades del cliente tiene un impacto negativo en la economía de la empresa y emplea espacio valioso. A menudo un stock es una fuente de pérdidas por productos que se convierten en obsoletos, posibilidades de sufrir daños, tiempo invertido en recuento y control, así también errores en la calidad escondidos durante mucho tiempo.

Las causas de esta pérdida pueden ser (Menéndez, 2014):

- Prevención de posibles casos de ineficiencia o problemas inesperados en el proceso.
- Un producto complejo que pueda ocasionar problemas.
- Una mala planificación de la producción.
- Prevención de posibles faltas de material por ineficiencia de los proveedores.
- Una mala comunicación.
- Una lógica “just-in-case”: tener stock “por si acaso”.

2.3.1.4. Transportes:

Cualquier movimiento innecesario de productos y materias primas ha de ser minimizado, dado que se trata de un desperdicio que no aporta valor agregado al producto. El realizar un transporte de piezas de ida y no pensar en la vuelta, representa un transporte eficaz al 50%, hay que prever un recorrido eficiente, ya sea dentro de la propia obra como en el exterior. El transporte cuesta dinero, equipos, combustible y mano de obra, también aumenta los plazos de entrega. Además hay que considerar que cada vez que se mueve un material puede ser dañado, y para evitarlo aseguramos el producto para el transporte, lo cual

también requiere mano de obra y materiales. O el material puede ser ubicado en un espacio inadecuado de forma temporal, por lo que se deberá volver a mover en un corto periodo de tiempo, lo que ocasionará nuevamente mano de obra y costos innecesarios.

El transporte ineficiente de material puede ser causado por (Menéndez, 2014):

- Una mala distribución en la obra.
- El producto no fluye continuamente.
- Grandes lotes de producción, largos tiempos de suministro y grandes áreas de almacenamiento.

2.3.1.5. Movimientos:

Todo movimiento innecesario de personas, materiales o equipos que no añade valor al producto es un desperdicio. Incluye a personas en la empresa subiendo y bajando por documentos, buscando, escogiendo, agachándose, etc. Incluso caminar innecesariamente es un desperdicio.

Las causas más comunes de movimiento innecesario son (Menéndez, 2014):

- Eficiencia baja de los trabajadores (por ejemplo, no aprovechan un viaje a una zona de mala accesibilidad para hacer todo lo necesario allí, en vez de ir dos veces).
- Malos métodos de trabajo: flujo de trabajo poco eficiente, métodos de trabajo inconsistentes o mal documentados
- Mala distribución en la obra: *layout* incorrecto
- Falta de orden, limpieza y organización (por ejemplo, si no se encuentran las herramientas es necesario un movimiento de los operadores para buscarlas).

2.3.1.6. Esperas:

La espera es el tiempo, durante la realización del proceso productivo, en el que no se añade valor. Esto incluye esperas de material, información, máquinas, herramientas, retrasos en el proceso, cuellos de botella y mano de obra.

Los “cuellos de botella”, se genera por una espera en el proceso productivo debido a que una fase va más rápida que la que le sigue, con lo cual el material llega a la siguiente etapa antes de que se la pueda procesar.

Las causas de la espera pueden ser (Menéndez, 2014):

- Hacer un mal uso de la automatización: dejar que los equipos trabajen y que el operador esté a su servicio cuando debería ser lo contrario.
- Tener un proceso desequilibrado: cuando una parte de un proceso corre más rápido que un paso anterior.
- Un mantenimiento no planeado que obligue a parar la línea para limpiar o arreglar una avería.
- Un largo tiempo de arranque del proceso.
- Una mala planificación de la producción.
- Una mala gestión de las compras o poca sincronía con los proveedores
- Problemas de calidad en los procesos anteriores.

2.3.1.7. Defectos de calidad:

Los defectos de producción y los errores de servicio no aportan valor y producen un desperdicio enorme, ya que consumimos materiales, mano de obra para reprocesar y/o atender las quejas, y sobre todo pueden provocar insatisfacción en el cliente.

Es preferible, por tanto, prevenir los defectos en vez de buscarlos y eliminarlos.

Las causas de estos defectos pueden ser (Menéndez, 2014):

- Falta de control en el proceso.
- Baja calidad.
- Un mantenimiento mal planeado.
- Formación insuficiente de los operarios.

- Mal diseño del producto.

La reducción o eliminación de desperdicios nos llevará a una mejora de costos y por tanto a ser más competitivos, dando una mayor flexibilidad y eficacia en nuestro proceso productivo.

2.4 LEAN CONSTRUCTION

Conocida como construcción sin pérdida, es una nueva manera de aplicar la gestión de producción en la industria de la construcción. Esta es una filosofía que se ha desarrollado sobre la base de los descubrimientos de la producción sin pérdidas (*Lean Production*). Comienza a tomar auge a comienzos de los noventa, mediante el trabajo realizado por Koskela y reforzada por el *International Group of Lean Construction*, el cual congrega a investigadores y a profesionales del medio de la construcción de todo el mundo.

La planificación utilizada en *Lean Construction* así como las técnicas de control empleadas reducen las pérdidas principalmente a través de la mejora de confiabilidad de los flujos. El punto de partida es acrecentar la confiabilidad de las asignaciones de trabajo al nivel de producción. Los sistemas de gestión tradicionales, al carecer de un sistema que permiten predecir con cierta exactitud el flujo de trabajo, por lo general diseñan cuadrillas que deben adoptar un esquema de flexibilidad para mantenerse ocupados. Desafortunadamente, la aplicación de flexibilidad en un punto de trabajo requiere de flexibilidad en toda la línea de producción. Por lo tanto, los sistemas de gestión de producción actuales introducen incertidumbres en el flujo de trabajo y por consiguiente pérdidas.

El nuevo enfoque de producción, *Lean*, establece que el proceso productivo se compone de conversiones y flujos, a diferencia del sistema tradicional de producción en el que solo se considera las conversiones.

Se denomina conversiones a todas las actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos, pensando en los

requerimientos del cliente, por lo tanto en el proceso de producción son actividades que agregan valor.

Las actividades de flujos (pérdidas), por el contrario, se consideran todas las actividades que no agregan valor pero consumen tiempo, recursos y espacio; generando costos en el proceso de producción.

El modelo de flujo de procesos permite visualizar las abundantes pérdidas que usualmente se encuentran en la construcción y que el modelo de conversión no permite verlos. En vez de mejorar únicamente los procesos, el nuevo enfoque apunta a mejorar tanto los procesos como los flujos. (Ghio Castillo, 2001, p. 31)

Al utilizar este nuevo enfoque de producción, buscamos hacer más eficientes las actividades de transformación que agregan valor, minimizando o eliminando las actividades de flujo que no generan valor (pérdidas), logrando así una mayor productividad en el proceso constructivo.

El esquema sugerido por *Lean Construction* empieza por estabilizar el flujo de trabajo a través del logro de una planificación confiable que genere una suerte escudos que protejan las cuadrillas y la producción de las incertidumbres que la administración de la obra no pueda controlar.

Al introducir certidumbre al flujo de trabajo y generar escudos sobre la producción, mejora el performance del trabajo de forma inmediata en un orden de magnitud del 30%, mientras que se estabiliza la producción de las actividades subsecuentes. Un flujo de trabajo predecible, en cualquier punto de la producción, hará posible que se reduzca la variación de los requerimientos de recursos, así como el rediseño de las operaciones siguientes. Las técnicas propuestas por *Lean Construction* han sido probadas tanto en diseño como en

construcción en proyectos pequeños y grandes (*fast track*), así como en el trabajo de subcontratistas especializados. (Ghio Castillo, 2001, p. 32)

En un estudio de Ballard (como se cita en Ghio Castillo, 2001) los esquemas convencionales de manejo de obras de construcción, se invierte mucho tiempo y dinero en generar presupuestos y planificaciones de obra para convertir una suerte de deseos sobre la forma en qué se llevará a cabo un proyecto en la realidad. El esfuerzo de planificación inicial se convierte durante la ejecución de la construcción en un esfuerzo de control. La planificación se suele desviar de los planes originales prácticamente desde el primer día de la obra causando una reacción en cadena que genera la necesidad de re-planificar gran parte del proyecto. Al irse reduciendo las holguras dentro de la planificación general, se va generando la presión de terminar rápido. Esto hace que la ejecución de la obra se haga, por lo general, aún peor. Los costos de mano de obra y equipo suben radicalmente y por lo general se aplica lo que algunas empresas constructoras lo conocen como “taque apache”. En estos casos se usa gran cantidad de recursos, a una eficiencia muy baja para lograr culminar la obra en los plazos establecidos. (p.32)

2.4.1 Modelo de conversiones de procesos

Es el modelo de producción que considera las entradas, la transformación (conversión) y finalmente las salidas.

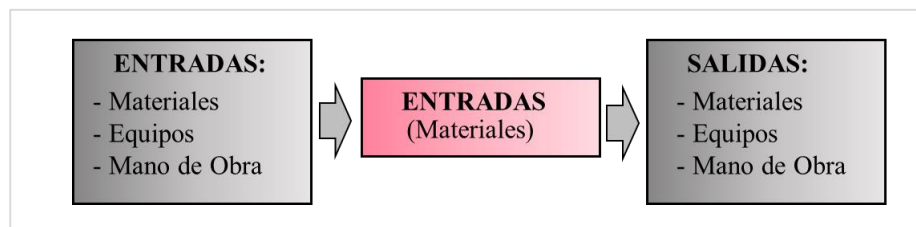


Figura 3. Modelo de conversión de procesos
Fuente: Elaboración propia.

Este modelo es la forma clásica en que se presentan los trabajos individuales en la construcción. Este es, además, el formato mental mediante el cual muchos

representamos el trabajo. Así este formato se usa para los conocidos CPM (*Critical Path Method*), WBS (*Work Breakdown Structure*) y otros formatos estándares de representación del trabajo.

La función principal del modelo de conversión de procesos es generar una descomposición jerarquizada del trabajo, de forma que estas actividades descompuestas puedan ser controladas y optimizadas; lo cual es erróneo. Al enfocarnos únicamente en conversiones, el modelo elimina el concepto de los flujos físicos que existen entre los procesos de conversión. Estos flujos consisten principalmente en movimientos, esperas e inspecciones.

“En cierta forma, el modelo de conversiones es una idealización correcta. Al menos desde el punto de vista del cliente tales actividades no son necesarias, ya que estas no le agregan valor al producto terminado”. (Ghio Castillo, 2001, p. 24)

2.4.2 Modelo de flujos de procesos

El modelo de flujo de proceso ve el trabajo como un flujo de materiales e información compuesto por la conversión propiamente dicha, la inspección, los transportes y las esperas. Su principal objetivo se centra en la eliminación de pérdidas y la reducción de tiempos de cada actividad. Este enfoque, en el cual se pasa de una visión en la que solo se considera el proceso de conversión a un esquema mental donde se toma en cuenta los flujos que conectan el trabajo, permite dividir el trabajo en Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y Trabajo No Contributorio (TNC) con mayor facilidad. (Ghio Castillo, 2001, p. 25)

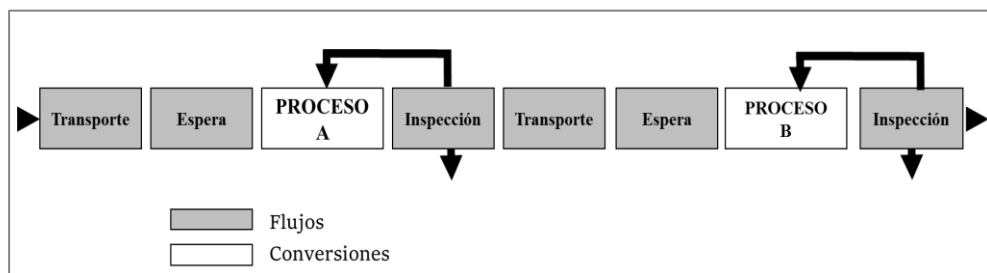


Figura 4. Modelo de flujo de procesos

Fuente: Botero, L. (2004). *Guía de mejoramiento continuo: para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda*, Medellín: Colombia. EAFIT.

2.4.3 Productividad

Es la capacidad de alcanzar los objetivos y metas programadas con el mínimo de los recursos disponibles y tiempo generando una optimización.

Eficacia: Es llegar a conseguir los objetivos propuestos sin importar la cantidad de recursos invertidos.

Eficiencia: Es producir la misma cantidad pero con menor costo.

Efectividad: Es el logro de los resultado en el tiempo y con los costos más razonables, es decir, conseguir el objetivo propuesto y con menores costos.

2.4.3.1 División del trabajo

De acuerdo a este nuevo enfoque de modelo de flujo de procesos se puede identificar tres tipos de trabajo: trabajo productivo (TP), trabajo Contributorio (TC) y trabajo no Contributorio (TNC).

2.4.3.1.1 Trabajo Productivo (TP):

Es el trabajo que aporta en forma directa a la producción, es decir, genera avance.

Ejemplo:



Figura 5. Termofusionado de tubería.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía],
Las Bambas: Apurímac. (2015)

2.4.3.1.2 Trabajo contributivo (TC):

Es el trabajo de apoyo que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el TP. No genera avance, pero es necesario. Algunos lo consideran pérdidas de segundo orden. Ejemplo:



Figura 6. Habilitación de la máquina de termofusión.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)

2.4.3.1.3 Trabajo no contributivo (TNC):

Son actividades que no son necesarias, tienen un costo y caen directamente en la categoría de pérdida. Ejemplo:



Figura 7. Esperas-descansos.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)

2.4.4 Gestión de la producción

En el sistema de gestión de la producción se plantean las estrategias y objetivos para lograr producir el producto eficientemente y lograr minimizar las pérdidas de todo el sistema. El potencial para agregar valor se da en la etapa de concepción y de diseño del proyecto. Sin embargo, se pueden identificar potenciales de mejoras aún durante la etapa de ejecución. Además, la satisfacción del cliente se relaciona también con la eficiencia de los sistemas de producción, la seguridad de los trabajos, con cero accidentes, el diálogo ameno con los clientes e interesados, etc.

2.4.4.1 Sistema de producción efectivo: La filosofía *Lean Construction* considera una forma de producción, cuya finalidad es eliminar o minimizar las pérdidas en los recursos que se usan en la etapa de ejecución y esto se verá reflejado en la reducción en costo y entrega oportuna del proyecto para lo cual se tiene que hacer mejoras en la producción.

A continuación en la tabla 1 se muestra los tres objetivos a cumplir para tener un sistema de producción efectivo.

Tabla 1. *Objetivos para lograr un sistema de producción efectivo.*

| SISTEMA DE PRODUCCIÓN | HERRAMIENTAS DE GESTIÓN |
|---|--|
| 1er Paso: Asegurar que los Flujos No Paren | Last Planner System - Pull Planning - Lookahead - Weekly Work Planning Gestión de Variabilidad |
| 2do Paso: Hacer Flujos Eficientes | Física de Producción Teoría de Restricciones |
| 3er Paso: Procesos Eficientes | Optimización de Procesos(Carta Balance) |

Nota: Recuperado de Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional.*
[Diapositivas de PowerPoint]

2.4.4.1.1 1er PASO: Asegurar que los flujos no paren:

Un sistema de producción debe tener un flujo ininterrumpido como primer paso para ser un sistema efectivo, sin preocuparnos de la eficiencia de los flujos y procesos. Esto se debe a que al tener flujos continuos el trabajo no se detendrá y podremos observar las fallas en cada proceso para reducirlos o eliminarlos.

Para lograr que los flujos no paren, se tiene que realizar un análisis profundo de las actividades a realizar, con el objetivo de establecer las estrategias necesarias para su ejecución.

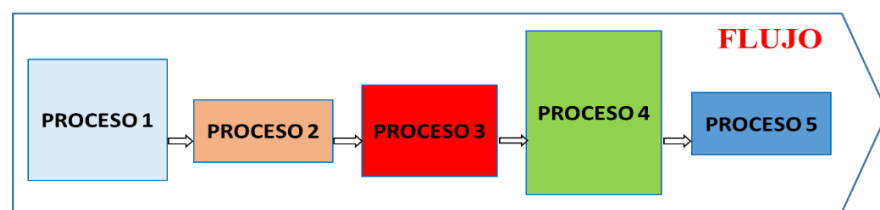


Figura 8. Flujo continuo en el proceso de producción.

Fuente: Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional*.

[Diapositivas de PowerPoint]

Como se puede apreciar en la figura 8, en esta primera etapa se logra continuidad del proceso en general, pero se puede observar pérdidas debido a que cada proceso de producción tiene diferente capacidad por consiguiente también en los flujos.

Lean Construction propone 2 tipos de acciones para asegurar que los flujos no paren y estos son la aplicación de *Last Planner System* y manejo de la variabilidad.

a) **Last Planner System**

Consiste en hacer un buen análisis de las actividades (que se va hacer, cómo se va hacer, los recursos que se van a necesitar, tiempos de ejecución y todas las estrategias necesarias para lograr los objetivos del proyecto), con la finalidad de obtener un planeamiento confiable. Esta planificación actúa como un escudo que protege a la programación mientras más nos aproximemos al día en que realizaremos la actividad.

b) Manejo de la variabilidad

La variabilidad es producto de factores externos al sistema de producción, como por ejemplo: los riesgos climáticos, materiales, huelgas, etc. El manejo de la variabilidad, se centra en mitigar el impacto que cause en los sistemas de producción, cuando sucedan estos eventos. Por ejemplo, el impacto de las lluvias durante la instalación de tuberías para un sistema de agua contraincendios en una zona lluviosa o la dependencia entre actividades, ante ello, se pueden plantear tácticas para reducir esa variabilidad.

Estrategias para el manejo de la variabilidad (Cerna Crisóstomo, 2016):

- Buffers
- Reducción del tamaño de lote
- Entender mejor los procesos
- Reducir las dependencias entre procesos y actividades
- Reorganización de procesos
- Uso de procedimientos constructivos que reduzca la incertidumbre

b.1) Buffer: Son “colchones” usados para contrarrestar los efectos negativos de la variabilidad. “son mecanismos que nos permiten absorber las fluctuaciones y variaciones en el sistema de producción”. (Cerna Crisóstomo, 2016)

Se pueden considerar 3 tipos de *Buffer*.

b.1.1) Buffer de materiales: Son considerados también Buffer de Inventario, que consiste en tener una cantidad mayor a la necesitada de materiales y/o equipos para evitar que el flujo se detenga ante la falla en la entrega de algún recurso. Es necesario debido a la poca confiabilidad que tienen los proveedores de este rubro.

b.1.2) Buffer de tiempo: Su uso es común en la programación semanal de las actividades como por ejemplo si en la obra se trabaja de lunes a domingo como es nuestro caso, en el Proyecto Minero Las Bambas, solo programaríamos de lunes a sábado y el día domingo sería nuestro “colchón”, en este día se estaría terminando

de completar lo que no se puede ejecutar entre los días planificados (lunes a sábado) a causa de algún imprevisto no observado y no controlado en la planificación.

b.1.3) Buffer de capacidad: Es usado cuando una cuadrilla determinada tiene problemas en su frente de trabajo ya sea por falta de material, condiciones climáticas adversas, entre otros. Se prevé en la programación frentes de trabajo adicional para colocar a la cuadrilla que tuvo problemas y así evitar tener a la cuadrilla parada generando pérdidas de horas hombre y se recomienda para estos casos tener una cuadrilla multidisciplinaria para cubrir estos nuevos frentes de trabajo.

2.4.4.1.2 2do PASO: Hacer flujos eficientes:

Es el segundo objetivo que se tiene que cumplir para tener un sistema de producción efectivo y este se logra dividiendo el trabajo total equitativamente entre los procesos para de esa manera tener procesos y flujos balanceados. Para lograr un balance equitativo se harán uso de la física de producción y del tren de actividades.

a) Física de producción

La física de producción es la ciencia que describe los movimientos de las unidades de producción a través de los procesos de un proyecto. Se basa en “La Teoría de Restricción” desarrollado por Eliyahu M. Goldratt, según los cuales se debe de balancear los flujos entre procesos porque todo el sistema está restringido por el proceso de menor producción (cuello de botella) y es el que determina la capacidad de producción del sistema.

Los principios de la Física de Producción son los principales conceptos desarrollados en las teorías de restricciones, que son las siguientes:

- Capacidad del sistema y cuello de botella
- Balance de estaciones de trabajo.

- Sistema *Pull* vs *Push*
- Tamaño de lote
- Eficiencia local vs eficiencia del sistema

a.1) Capacidad del sistema y cuello de botella

La capacidad del sistema es la capacidad de producción con la que se obtienen productos terminados. El cuello de botella es la fase de la cadena de producción más lenta; es decir, la estación que posee la menor capacidad de producción del sistema.

Es común creer que la capacidad del sistema es el promedio de las capacidades de las estaciones. Sin embargo, el flujo de la producción se encuentra delimitado por el cuello de botella, que es la que posee menor capacidad. Por ello, la capacidad del sistema es capacidad del cuello de botella.

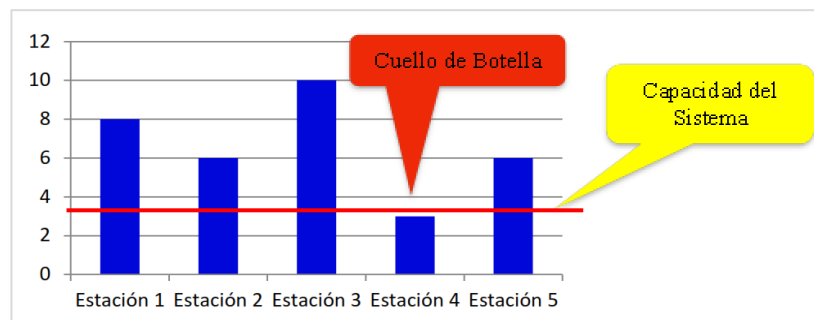


Figura 9. Capacidad del sistema y cuello de botella.

Fuente: Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional*.
[Diapositivas de PowerPoint]

a.2) Balance de estaciones de trabajo.

Una vez identificado el cuello de botella, aumentamos la capacidad de la misma, luego igualamos la capacidad de las demás estaciones al cuello de botella y comenzamos todo otra vez.

a.3) Sistema Pull vs Push

El sistema *Push* es un ritmo de producción acelerado. Al terminar el trabajo de cada estación, la unidad pasa a la siguiente estación sin importarle su capacidad. Cada estación produce todo lo que puede; es decir, produce a su capacidad máxima. La diferencia de capacidades de las estaciones generan las máximas cantidades de inventarios (pérdidas) que puedan producir en el sistema.

En el sistema *Pull* se jala la producción desde las estaciones subsecuentes. No se genera inventarios, pues la estación no puede seguir produciendo más, sino que antes la estación siguiente haya recibido el lote anterior. Cada estación produce sólo lo que puede procesar la siguiente.

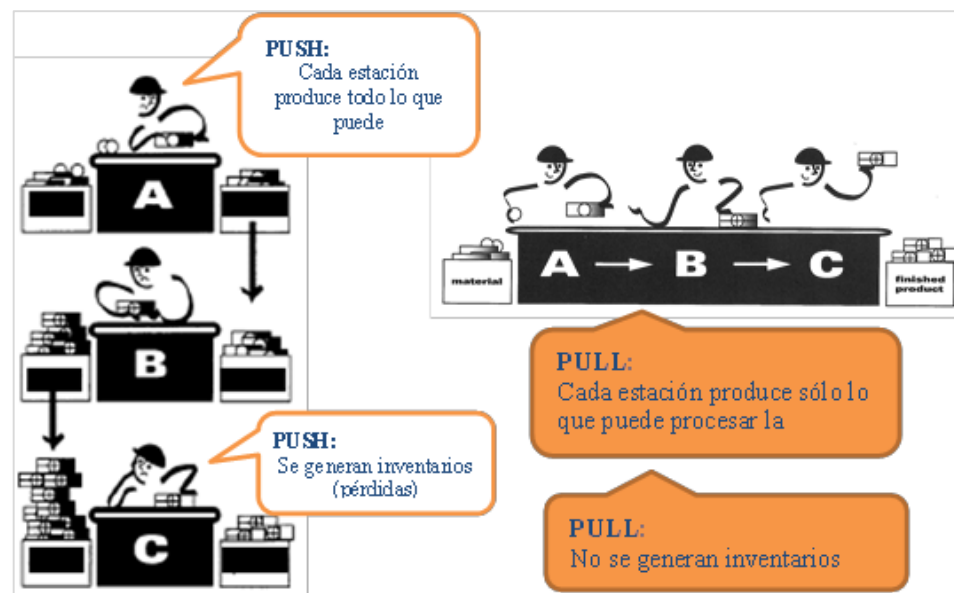


Figura 10. Comparación entre *push* y *Pull*.

Fuente: Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional*.

[Diapositivas de PowerPoint]

a.4) Tamaño de lote

Se recomienda usar lotes pequeños de producción, recordemos que el sistema *Pull* permite eliminar los inventarios, pues produce con la capacidad de la siguiente estación. Pero, los diferentes rendimientos de cada estación generan que se produzcan esperas (pérdidas) hasta que la siguiente estación este lista. Sin embargo, las esperas se pueden reducir si se reduce el tamaño de lote, pues para

pasar a otra estación se requiere que se produzcan la cantidad del lote; entonces cuando reducimos el tamaño del lote, reducimos los tiempos de esperas.

Ejemplo práctico:

Para un lote grande, de 10 unidades, a cada estación le toma producir un lote 10 minutos. Para empezar la producción, se requiere que se complete la producción del lote en la estación anterior; por lo que en la figura 10 la estación B espera 10 minutos para iniciar la producción y la estación C, 20 minutos. En total, se requiere 30 minutos para producir todo el lote.

En el caso del lote pequeño de 1 unidad, la estación B inicia la producción en el segundo minuto y la estación C, en el tercero. Se producen esperas de 1 minutos por estación y se requiere 12 minutos para producir el lote de 10 unidades.

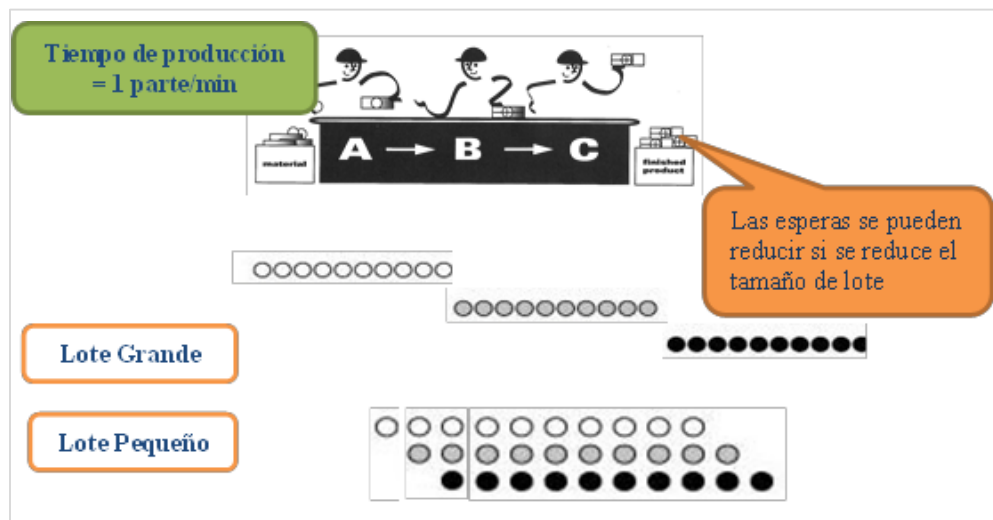


Figura 11. Comparación entre lotes grandes y lotes pequeños.

Fuente: Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional*.

[Diapositivas de PowerPoint]

a.5) Eficiencia local vs eficiencia del sistema

La eficiencia local es que cada estación trabaje a su máxima capacidad de manera independiente, lo cual genera pérdidas. Sin embargo, para ver la eficiencia del

sistema la prioridad es el cuello de botella, que éste produzca al tope y/o eleve su capacidad y que todo el sistema se encuentre a esa capacidad.

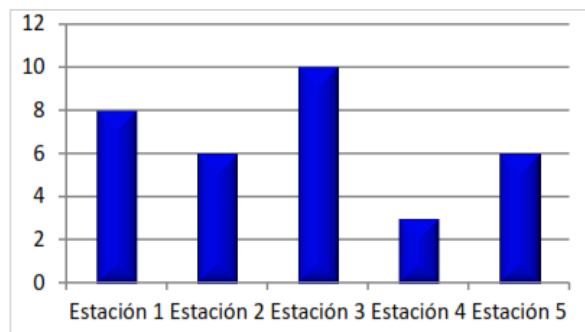


Figura 12. Eficiencia local.

Fuente: Piña, Karina. *Tren de Actividades*.
Lean Construction. Idear Consultores.
15 de febrero de 2016

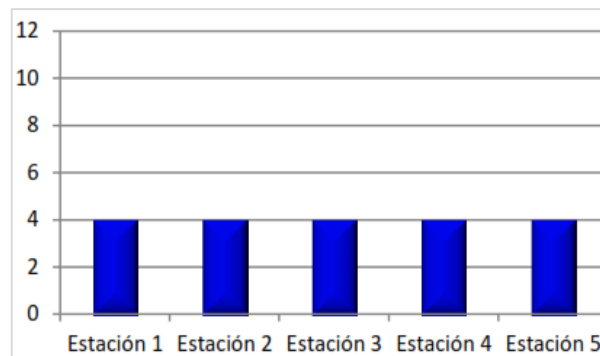


Figura 13. Eficiencia del sistema.

Fuente: Piña, Karina. *Tren de Actividades*.
Lean Construction. Idear Consultores.
15 de febrero de 2016

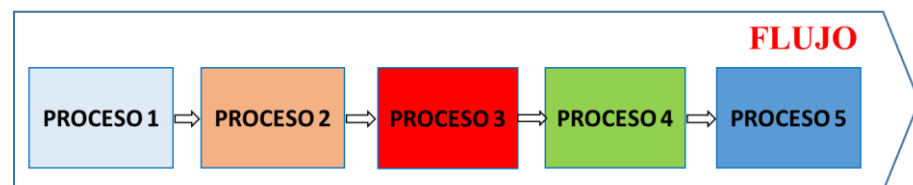


Figura 14. Flujo eficiente entre los procesos.

Fuente: Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional*.
[Diapositivas de PowerPoint]

2.4.4.1.3 3er PASO: Lograr procesos eficientes:

Finalmente, el último esfuerzo para conseguir un sistema efectivo, es lograr procesos eficientes, es decir lograr producir cada unidad de trabajo con la menor

cantidad de recursos posible. *Lean Construction* propone realizar las siguientes acciones: *First Run Studies*, y algunas técnicas de muestreo como cartas balance, medición del nivel general de actividad, estudio de ciclos, etc.

a) **First Run Study**²

Es el estudio y obtención de los ratios de producción reales que se van tener en el proyecto en ejecución, con el personal real de la obra. Usualmente se realiza al inicio del proyecto, y permite analizar de forma detallada el proceso de construcción. Posibilita entender mejor el proceso y verificar si se ha considerado todo lo necesario para iniciar la actividad, así como contar con un ratio de producción más confiable y cercano a la realidad del proyecto en ejecución, con lo cual las proyecciones o estimaciones en la programación se realizarán con mayor certeza. (Piña Lozada, s.f.)

b) **Muestreo**

Es una técnica factible para optimizar el trabajo productivo realizado en un proceso, es decir aumentar el trabajo que aporta directamente a la producción. Al analizar los resultados, se pueden reducir actividades como tiempos de espera, traslados, interferencias entre actividades y en general el uso inadecuado de los recursos, tanto de la mano de obra como de los equipos. Para ello se suele utilizar las cartas balance, medición del nivel general de actividad, estudio de ciclos, etc.

Las técnicas de muestreo más utilizadas en nuestro medio son: Las Carta Balance y el Nivel General de Actividades.

b.1) Carta balance: Herramienta que indica sucesión de tiempos. Las cartas balance permiten resolver la necesidad de describir el proceso de una operación,

² First Run Study, traducido al castellano es Análisis de Primera Ejecución

de una manera detallada; además, permite comentar el método usado y determinar la cantidad de recursos más adecuada para cada cuadrilla.

b.2) Nivel general de actividades

Herramienta estadística que se usa para determinar la distribución del trabajo en un sector, frente o en todo el Proyecto. Muestra cómo se ocupa el tiempo durante el desarrollo de los procesos de construcción, separando el trabajo en TP, TC y TNC.

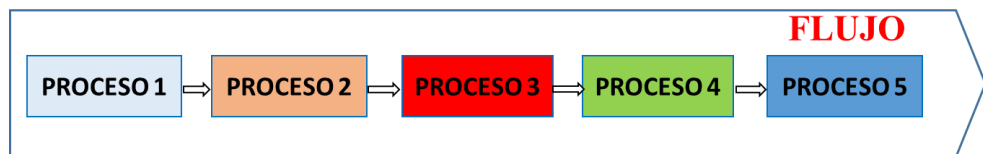


Figura 15. Procesos eficientes.

Fuente: Graña y Montero. (s.f). *Fundamentos de la excelencia operacional.*

[Diapositivas de PowerPoint]

2.5 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)

Inicialmente se aplicaba herramientas y teorías *Lean* en la etapa de ejecución de los proyectos, pero debido a los buenos resultados se fue implementando estas teorías hacia las otras fases dando origen así a LPDS que abarca todo el ciclo de vida de un proyecto.

LPDS se define como un proceso colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de este. Un equipo es el encargado en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones. Se trata de un enfoque por etapas. El control de la producción, la estructuración del trabajo y el aprendizaje es algo que ocurre continuamente en todo proyecto y cada fase contiene actividades e hitos que se deben cumplir a medida que este avanza.

(Pons Achell, 2014, p. 38)

A continuación se muestra el gráfico de la gestión de producción en todo el ciclo de vida de un proyecto.

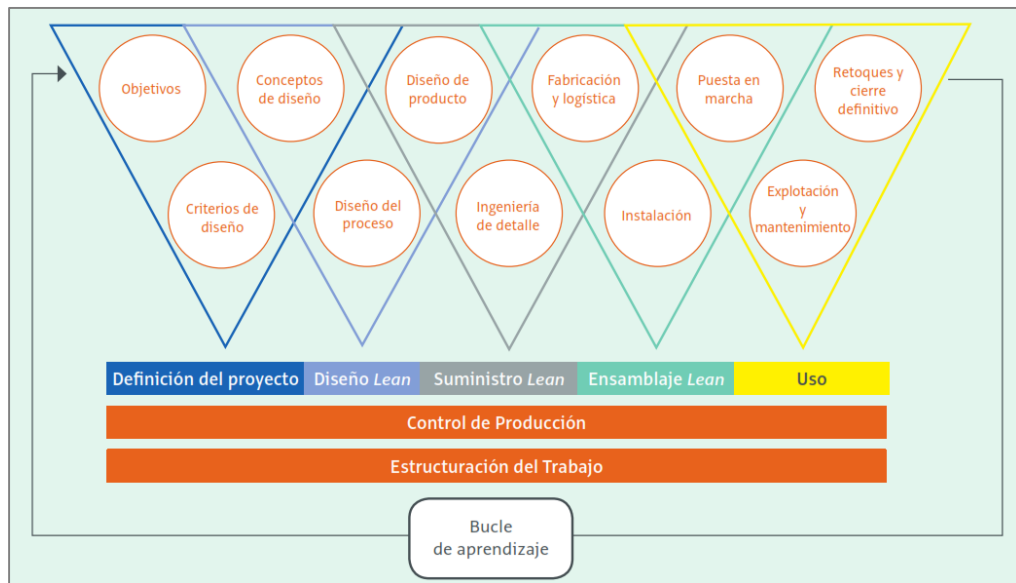


Figura 16. Estructura de trabajo según LPDS.

Fuente: Pons, F. (2014), *Introducción a Lean Construction*, España. Fundación Laboral de la Construcción.

Como se puede observar en la figura 16 el modelo LPDS abarca desde la definición del proyecto e interactúa con las demás fases de manera conjunta. El esfuerzo en cada una de estas fases debe ser equilibrada de lo contrario los resultados no serán los esperados (óptimos).

Este modelo LPDS es muy limitado puesto que los integrantes de un proyecto de construcción no siempre participan desde un inicio tampoco en todas las fases de este, debido a que existen diferentes tipos de contratos para ejecutar un proyecto de construcción, a veces los involucrados se van integrando a medida que va avanzando el proyecto y en estos casos ya no es posible aplicar el modelo LPDS puesto que este trabaja en conjunto, todas las fases interrelacionadas de lo contrario sería un fracaso.

Como evolución y mejora del LPDS surge el IPD que además de ser una herramienta integradora incorpora los diferentes niveles de colaboración y modelos de contrato entre múltiples partes.

2.6 INTEGRATED PROJECT DELIVERY (IPD)

IPD (gestión y ejecución integrada del proyecto).

Es un enfoque de la ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha colaborativamente el talento y los puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el cliente, reducir el desperdicio y maximizar la eficiencia en todas las fases de diseño, fabricación y construcción. (Pons Achell, 2014, p. 45)

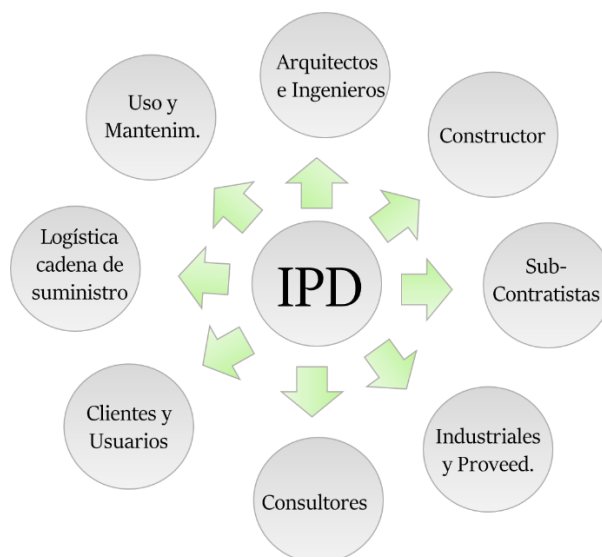


Figura 17. Modelo de Integrated Project Delivery.

Fuente: Pons, F. (s.f). *Lean Construction: la base del cambio* [Diapositivas de PowerPoint]

Los principios del IPD se pueden aplicar a una amplia variedad de acuerdos contractuales y pueden incluir miembros que van más allá de la tríada básica: propietario, proyectista y constructor. En todos los casos, los proyectos integrados se distinguen de forma única por la colaboración altamente eficaz entre el propietario o promotor, el equipo de diseñadores y el contratista principal, que comienzan a colaborar al principio del diseño y continúan a través de toda la entrega del proyecto.

El (IPD) se basa en la colaboración, que a su vez se basa en la confianza. Efectivamente estructurada, la colaboración basada en la confianza insta a las partes a centrarse en los resultados del proyecto en lugar de sus metas individuales. Sin la colaboración basada en la confianza, IPD se tambalearía y los participantes se mantendrían en las relaciones adversas y antagónicas que plagan la industria de la construcción hoy en día. IPD promete mejores resultados, pero los resultados no van a cambiar a menos que las personas responsables de la entrega de los resultados cambien también. Por lo tanto, la consecución de los beneficios del IPD requiere que todos los participantes en el proyecto se comprometan con los principios del IPD.

Principios del IPD. (Pons Achell, 2014, p. 46)

1. El respeto y la confianza
2. Beneficio mutuo y recompensa
3. Innovación y toma de decisión colaborativa
4. La participación temprana de los participantes clave
5. Definición temprana de los objetivos
6. Planificación intensificada
7. Comunicación abierta
8. Tecnología apropiada
9. Organización y liderazgo

2.7 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

2.7.1 Introducción:

En los últimos 30 años muchas industrias han mejorado notablemente en la productividad. Por otro lado se han realizado investigaciones acerca de la productividad en la industria de la construcción obteniendo que durante ese mismo periodo ha disminuido de manera constante.

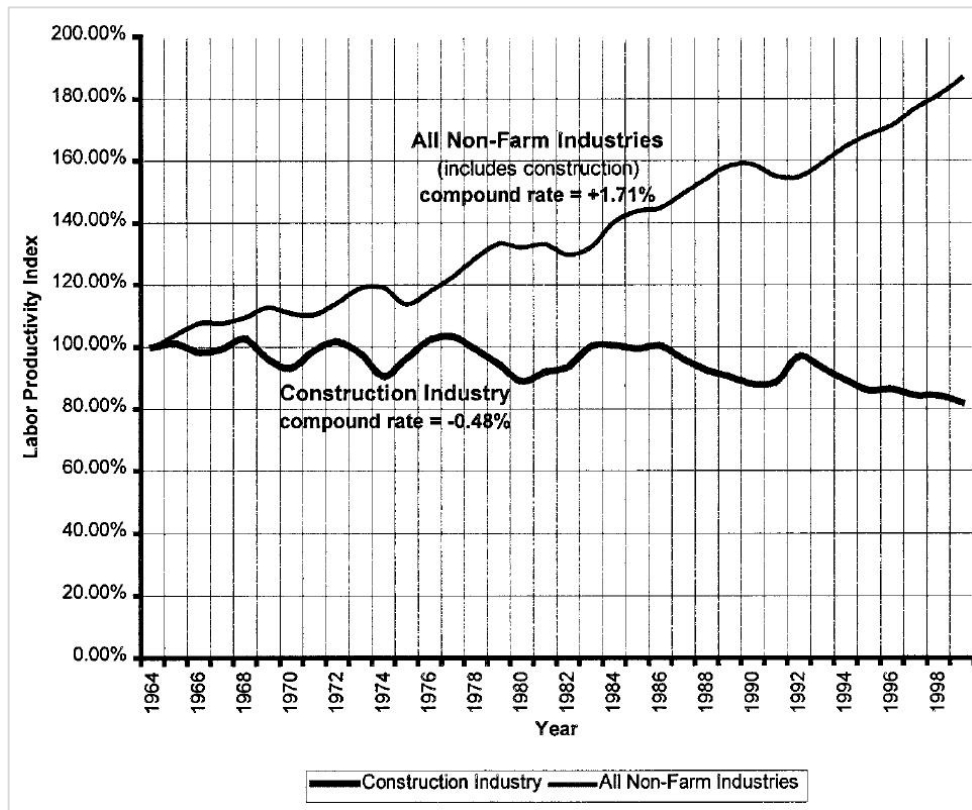


Figura 18. Índice de productividad en la industria de la construcción comparado con otras industrias no agrícola (1964-1999).

Fuente: Teicholz, Paul. (2004). Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies. AECbytes Viewpoint#4.

A pesar que se ha venido haciendo investigaciones en la industria de la construcción sobre la productividad, es difícil ignorar que otras industrias han avanzado con pasos agigantados en la mejora de la productividad, estas mejoras se deben al uso de tecnologías y a un replanteamiento de sus procesos. Un ejemplo de esto es la aplicación de los principios *Lean* en los procesos de fabricación de la industria automovilística que significan al menos dos veces de la mejora de la productividad para algunas empresas. (Khanzode, Fischer, Reed, & Ballard, 2006).

En la industria de la construcción los avances tecnológicos y desarrollo de herramientas, como el diseño asistido por computadora (CAD), fueron por especialidad, es decir, de manera aislada es por ello que al considerar como un

todo se observa que la productividad sigue decreciendo según la figura 18. Para mejorar esta situación se necesita herramientas que tengan un enfoque integrador y como respuesta a esto nace el uso de *Building Information Modeling* (BIM) que en estos últimos años ha demostrado tener la capacidad de responder a las necesidades de la construcción incrementando la eficiencia optimizando recursos, reduciendo riesgos y manteniendo la sostenibilidad de todo proceso relacionado con el ciclo de vida del proyecto.

BIM presenta muchas ventajas para nuestro trabajo, asegurando calidad en la gestión de proyectos de alta complejidad. Algunos de los beneficios que percibimos son:

- Evaluación temprana de conflictos: Al comparar la información desde el comienzo del proyecto podemos detectar posibles conflictos en las distintas etapas del proceso.
- Evita retrasos y costos adicionales: Al visualizar los procesos con anticipación prevenimos problemas sin mayores costos ni retrasos inesperados.
- Aumenta y optimiza el tiempo: En proyectos integrados (IPD) aporta información para la administración, clarificando las tareas pendientes en cada etapa.
- Permite visualizar cambios simultáneos: Podemos estimar las repercusiones de cada solución en las distintas áreas, sin improvisar nuevos modelos.
- Mejora la organización y el seguimiento: Permite proyectar el calendario del proyecto y realizar un seguimiento durante la construcción.
- Facilita la estimación de recursos: Es más fácil desarrollar el presupuesto y control de obra cuando toda la información está en sobre la mesa y es fácil de revisar.
- Permite evaluar la sustentabilidad de la obra: Facilita el cálculo de la eficiencia de la construcción.

La aplicación del BIM hace uso de software de diseño como Revit, SmartPlant, NavisWork entre otros. Existen varias dimensiones del BIM y estos son: dimensión 3D, dimensión 4D, dimensión 5D y dimensión 6D.

2.7.2 Modelado en 3D

Nos permite crear un modelo virtual de la construcción utilizando los ejes X, Y y Z para la coordinación y visualización, logrando una mejor clarificación, lo que nunca se podría conseguir en un dibujo 2D (papel o CAD), porque tendríamos varios gráficos superpuestos. Este modelo nos permite detectar conflictos y eliminar los problemas antes de la construcción.



Figura 19. Modelo3D: proyecto minero Las Bambas.
Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.

2.7.3 Modelado en 4D

Cuando añadimos el tiempo al modelo 3D, nos da una cuarta dimensión, lo que permite a todos los involucrados del proyecto a ver como podría ser la construcción por fase y completo.

Esto fomenta la gestión y planificación de la construcción, lo que significa que el equipo de diseño puede visualizar dónde, cómo y cuándo podrían ir los camiones, grúas, etc. Esto ayuda a eliminar la congestión del lugar, eliminando equipos

innecesarios en la construcción, basados en la información en tiempo real que se introduce en el modelo.

2.7.4 Modelado en 5D

Una quinta dimensión se introduce cuando se añade el concepto de costo en el modelo 4D. BIM (como VICO software) para el cálculo del costo permite una estimación precisa de las figuras y de un cambio inmediato en el costo si hay un cambio en el diseño o la estructura del modelo. Esto tiene un gran beneficio para un proyecto si el presupuesto del cliente es particularmente muy ajustada. Esto permite a los arquitectos e ingenieros alterar un diseño o estructura que es demasiado costoso para una que más se acomoda a las necesidades del cliente.

2.7.5 Modelado en 6D

6D es la dimensión final de BIM, este se ocupa principalmente de la gestión de las instalaciones, el cuidado y mantenimiento de la edificación o infraestructura una vez que la etapa de construcción se ha completado.

2.8 DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama de flujo es una foto de pasos individuales de un proceso en orden secuencial.

2.8.1 Tipos de elementos representados

- Secuencia de acciones
- Materiales o servicios entrando o saliendo un proceso
- Toma de decisiones

2.8.2 Uso de los diagramas de flujo

- Para entender como se hace un proceso
- Para estudiar un proceso y mejorarlo
- Para comunicar a otros como se hace un proceso

- Cuando se necesita una mejor comunicación entre personas involucradas en el mismo proceso.
- Para documentar un proceso
- Al planear un proyecto.

2.9 LAST PLANNER SYSTEM (LPS)

Last Planner System fue introducido por Ballard y Howell (fundadores de *Lean Construction Institute* - USA) en 1993 y actualmente está siendo utilizado por cientos de constructoras alrededor del mundo. El sistema desarrollado es una herramienta para aumentar la confiabilidad de la planificación reduciendo la variabilidad de éste controlando las interdependencias existentes entre los procesos y más que predecir el futuro es crearlo, diseñando un escenario deseable, creando las condiciones para lograrlo, basándose en una adecuada definición de actividades, detectando las potenciales dificultades y haciendo uso óptimo de los recursos.

La planificación de la alta organización (*Pull Planning*) tiende a centrarse en los objetivos y restricciones globales que rigen todo el proyecto. Estos objetivos conducen a niveles bajos de planificación que especifican los medios para lograr estos fines.

Cuando la última instancia (persona o grupo de personas) decide que trabajo físico-específico hará el día de mañana, a esta planificación se le llama asignación. La persona o grupo de personas que hacen las asignaciones son llamados *Last Planner* o en castellano Último Planificador puesto que son las últimas personas encargados de definir las asignaciones del día a día de la obra. (Glenn Ballard, 2000)

Last Planner System también introduce conceptos de integración (IPD), que reúne a todas las personas involucradas antes de empezar con la ejecución del proyecto en el *Pull Planning* donde intervienen representantes de cada especialidad, quienes deciden qué, cómo y cuándo se realizarán los trabajos; consiguiendo un compromiso sobre el avance de las actividades que son posibles de realizar.

A continuación presentamos los niveles de planificación que abarca *Last Planner*.

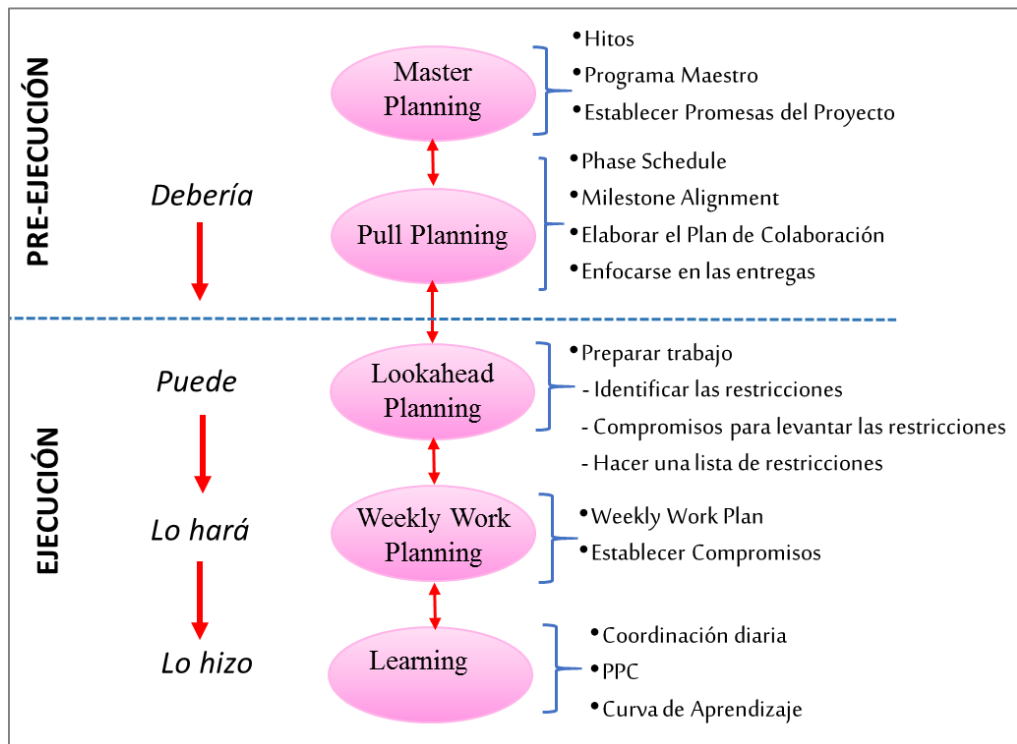


Figura 20. Secuencia para crear y mantener confiable el flujo de trabajo.
Fuente: International Facility Management Association. (2015). [Diapositivas de PowerPoint]

En la figura 21 se muestra a más detalle mediante una gráfica lo que comprende *Last Planner System*.

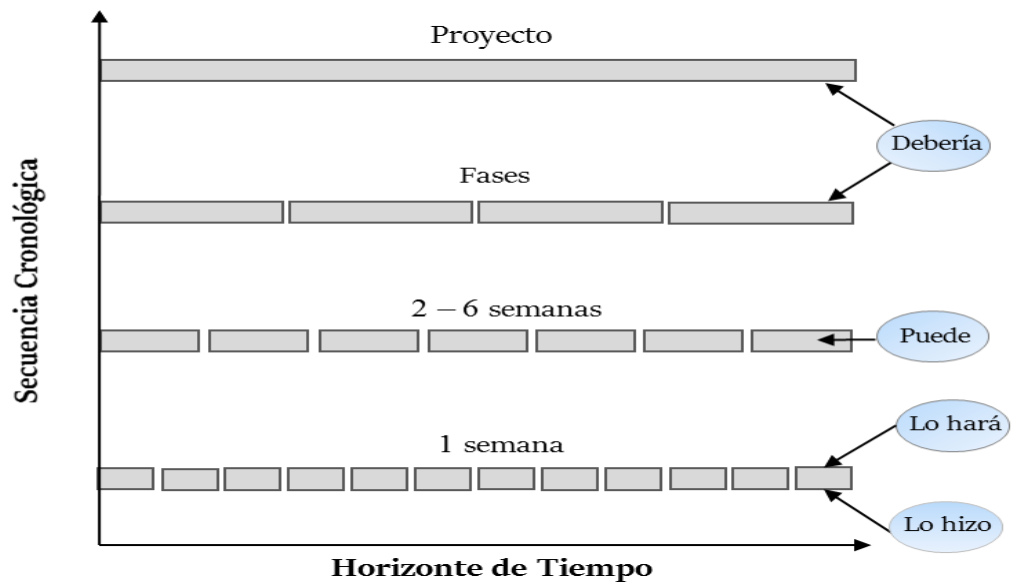


Figura 21. Etapas de planificación / Niveles en Last Planner System.
Fuente: Patel, A. (2011). *The Last Planner System for Reliable Project Delivery*. [Tesis], University of Texas at Arlington.

2.9.1 Master Schedule

Este cronograma viene preparado al comienzo del proyecto y se extiende desde el comienzo hasta el fin de las operaciones del proyecto. Este tipo de programación no puede ser muy detallada por lo que concierne al futuro, debido a la falta de información acerca de las duraciones reales y de los suministros.

Aquí se identifican los hitos y entregables hechas por el cliente.

2.9.2 Pull Planning

Esta planificación se usa cuando el proyecto es largo y complejo, donde no es suficiente el uso del *Lookahead* porque éste podría llegar a tener demasiados detalles haciéndolo complejo y muy confuso.

Lo que hace el *Pull Planning* es un enlace entre producto (entregables) y proceso, es decir entre “lo que hay que hacer” y “como hacerlo”, lo cual se verifica en el *phase scheduling*.

Esta etapa de planificación comprende dos partes *Phase Scheduling* y *Milestone Schedule*.

2.9.2.1 Milestone Planning

Planificación de hitos, aquí se hace un ejercicio estratégico para confirmar al más alto nivel si el proyecto puede ser completado dentro del tiempo asignado. En esta etapa de planificación se prepara en base a los principales requerimientos hechos por el cliente, como de otros hitos principales del proyecto.

2.9.2.2 Phase Scheduling

Planificación por fase, se prepara para hacer frente a cómo se lograra cumplir con los hitos, para esto se deben reunir los representantes de cada disciplina y áreas de soporte. Antes de llevarse a cabo la reunión se debe hacer una previa invitación con días de anticipación para que cada participante venga preparado y conozca las necesidades que tiene para empezar a ejecutar la parte que le corresponde.

Una vez llegada el día de la reunión se colocara papelotes u otro material en la pizarra de tal manera que se puedan pegar los posit-its. En esta reunión es indispensable la presencia del gerente de construcción, si es posible él será el quien dirija la reunión. Se empezara a trabajar a partir de la última fecha (hito) del cronograma contractual hacia atrás, definiendo tareas y secuenciándolas de tal manera que el trabajo este realmente terminado.

2.9.2.2.1 Como trabaja Pull Planning? (Lean Construction Institute, s.f.)

- Entrega de tareas de trabajo, flujo de información y material son planeados en base a requerimientos (*Pull*) de clientes aguas abajo.
- En *Phase (Pull) Scheduling* a menudo se expone la necesidad de tener lotes pequeños, entrega de justo a tiempo (*just-in-time*), una mejor nivelación de los recursos y la reducción de los plazos de entrega.
- El flujo de trabajo se vuelve más fiable y eficiente ya que los desperdicios de espera, redundancia y sobre procesamiento se eliminan.

2.9.2.2.2 Pasos Pull Planning: (Lean Construction Institute, s.f.)

1. Definir las fases del trabajo
2. Determinar la fecha de entrega por fase (o hito)
3. Usando posit-its (un color por cada representante) sobre los papelotes y partiendo de la fecha última se desarrolla la red de actividades requeridas para completar la fase.
4. Colocar la duración de cada actividad no con una contingencia o reserva en las estimaciones.
5. Re-examinar la verdadera lógica para acortar las duraciones.
6. Determinar la práctica más temprana de la fecha de inicio.

(Ponz Tienda, Cervero Romero, & Alarcón Cardenas, 2013) afirman:

Se marcarán las fechas más relevantes tomadas del programa maestro como “HITOS” y los representantes irán analizando las posibilidades reales de cumplir con ese término, así como las necesidades que van surgiendo (materiales, mano de obra, liberación de la actividad por otro de los representantes...) De manera que el equipo se centra en el final de la fase y trabaja hacia el comienzo, liberando las actividades para otros miembros del equipo. Se van ajustando los post-its, reflejando la forma en que realmente se va a llevar a cabo el trabajo, hasta que finalmente se tenga una red lógica. Se puede ampliar la información en los post-its, indicando duraciones a las tareas, cantidad de recursos... (p. 21)

Lo importante es que cada disciplina necesita de otros con el fin de iniciar y terminar su trabajo correctamente. *Phase Scheduling* define dar el pase de una disciplina a otra, asegurando que el ejecutor y el cliente de cada porción de trabajo estén de acuerdo en los criterios para determinar que el trabajo entregado está

totalmente listo, es decir, no hay restricciones para dar pase a la siguiente actividad.

El resultado de *Phase Scheduling*, es un plan gráfico que muestra no solo la secuencia del trabajo sino que detalla el acuerdo entre cada ejecutor y su cliente, describiendo exactamente que podría ser provisto y para cuando.

2.9.3 Lookahead Planning: Programación Lookahead

Es una planificación intermedia, cumple la función de controlar los flujos de trabajo y resaltar lo que se debería hacer en un futuro cercano.

La ventana de tiempo en el *Lookahead*, es el número de semanas en el cual se trabaja en esta etapa, se decide tomando en cuenta las características del proyecto, la confiabilidad del sistema de planificación, y el tiempo de respuesta en la adquisición de información, materiales, mano de obra y maquinaria.

Antes de entrar a la ventana de tiempo de la planificación *Lookahead*, el *Master Schedule* es disgregado en niveles de detalles (WBS) apropiados para la asignación del plan de trabajo semanal, en el cual hay múltiples asignaciones para cada actividad. Cada asignación está sujeta a un análisis de restricciones, las cuales deben levantarse antes para poder ser ejecutadas. Solo se debe permitir dentro de la ventana *Lookahead*, aquellas actividades que pueden ser realizables, es decir, que sus restricciones se puedan levantar dentro de esa ventana de tiempo de lo contrario esas actividades serán retardadas.

2.9.3.1 Análisis de restricciones

Una vez que las asignaciones o tareas sean identificadas dentro de la ventana del *Lookahead*, se someterán a un análisis de restricciones.

Las restricciones pueden ser de diseño, trabajo previamente ejecutado, espacio, equipos, permisos, inspecciones, aprobaciones, etc.

A continuación se muestra la figura 22, donde se detalla la secuencia a seguir en esta etapa de planificación.

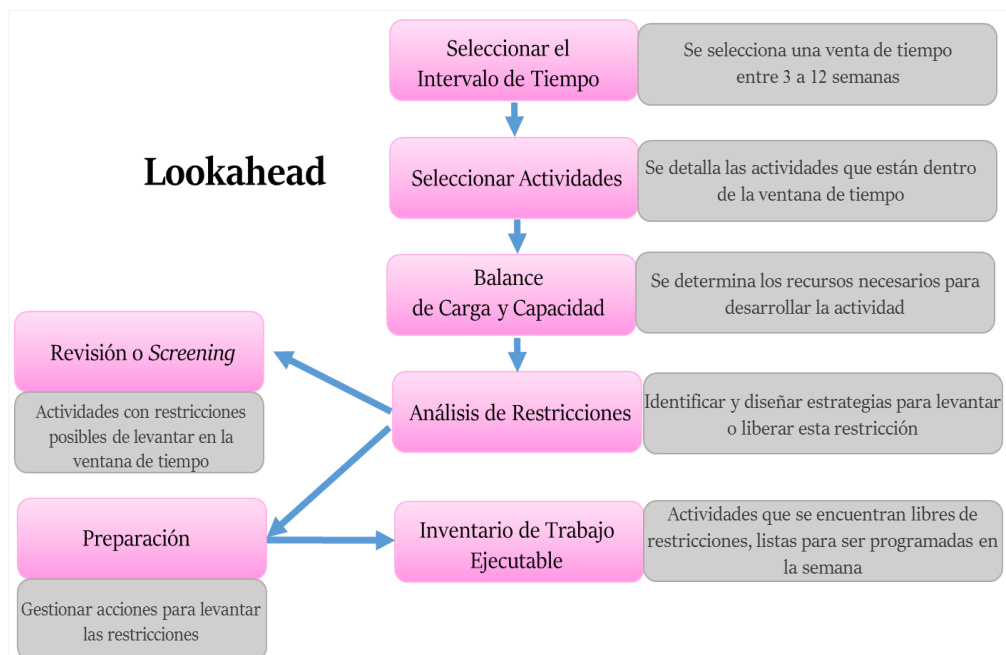


Figura 22. Secuencia de la etapa del Lookahead.

Fuente: Elaboración propia

2.9.4 Weekly Work Planning: Programación semanal

Este plan de trabajo semanal presenta mayor nivel de detalle de las actividades antes de su ejecución. Tener presente que estas actividades a ejecutar en la semana son tomadas del Inventario de Trabajo Ejecutable puesto que están libres de restricciones y mantendrán nuestro flujo de trabajo permanente y confiable asegurando que las actividades puedan ser realizadas sin problemas. En la ejecución del trabajo semanal también es posible identificar un “retraso viable” que viene a ser un trabajo libre de restricción de que no se programó para ejecutar en esta semana según el plan, pero el equipo de trabajo está de acuerdo en ejecutarla en caso se tenga un exceso de capacidad.

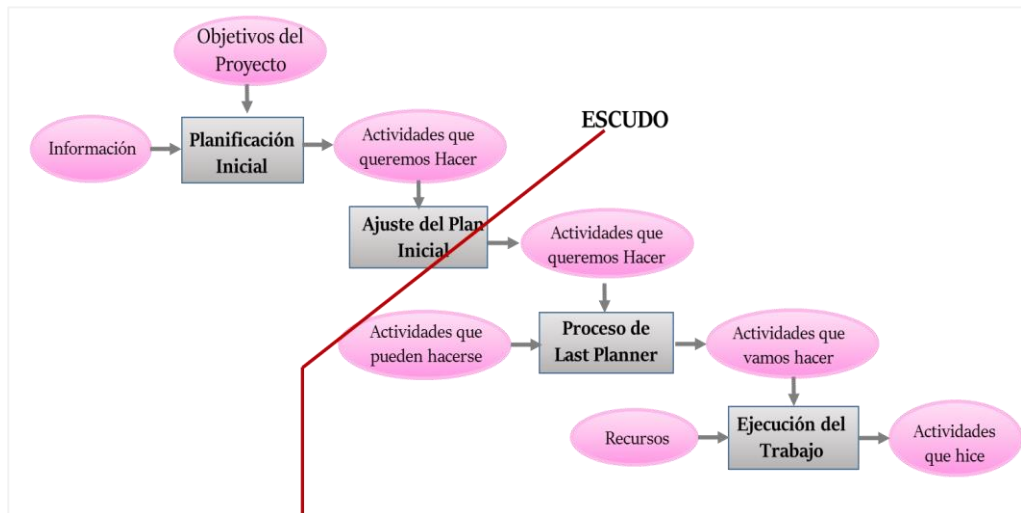


Figura 23. Esquema del último planificador.

Fuente: Ghio, V. (2001). Productividad en obras de construcción, Lima: Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.

En la figura 24 se muestra otro esquema representativo para entender el proceso de trabajo con *Last Planner System*.

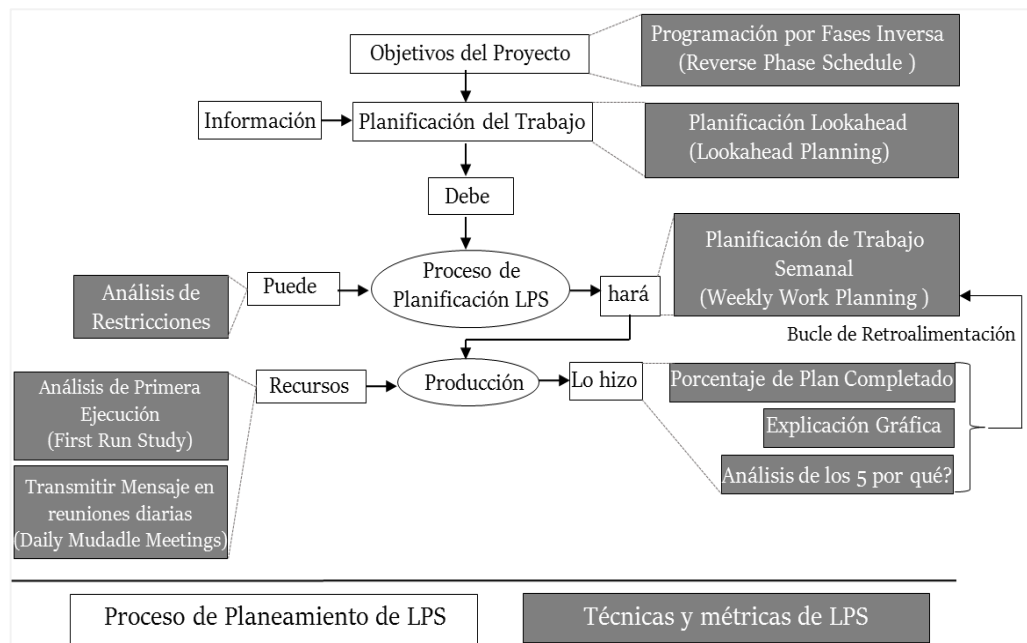


Figura 24. Técnicas y procesos en Last Planner System.

Fuente: Porwal, V. (2010) Last Planner System Implementation Challenges. *Proceedings IGLC-18, July 2010, Technion, Haifa, Israel.*

El modelo de mapa de proceso de la figura 25, fue utilizado en un proyecto de construcción de un hospital llamado Cathedral Hill Hospital en la ciudad de San Francisco (Estados Unidos). Se inició en el 2007 y entro en funcionamiento en enero del 2015. Este hospital tiene 16 pisos y 555 camas.

Este mapa de proceso incluye una parte importante que es el IPD, una herramienta que permite la integración de todos los involucrados antes de la ejecución del proyecto. El IPD está integrado por un grupo específico de personas quienes llevan el apunte, control y seguimiento de los acuerdos tomados en la reunión, aquí los involucrados se comprometen colocando un porcentaje de su participación en dinero como garantía para que en el caso de incumplir con su compromiso se podría tomar este dinero para reducir el impacto por tal incumplimiento, pero la idea no es llegar hasta este punto puesto que todos los integrantes quieren salir beneficiados del proyecto.

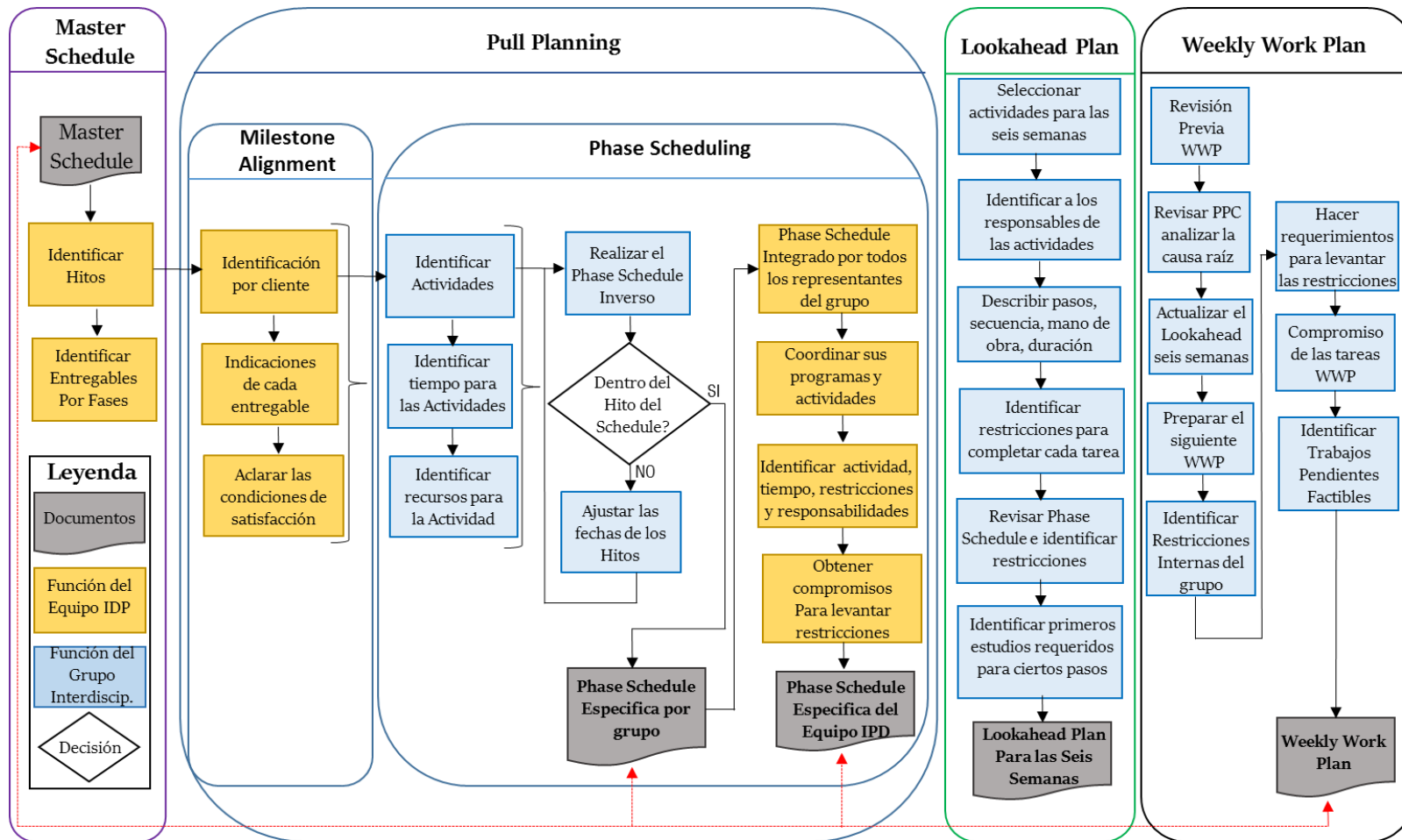


Figura 25. Mapa de procesos de Last Planner System.

Fuente: Hamzeh, F. (2009). Is The Last Planner System Applicable To Design? A Case Study. 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

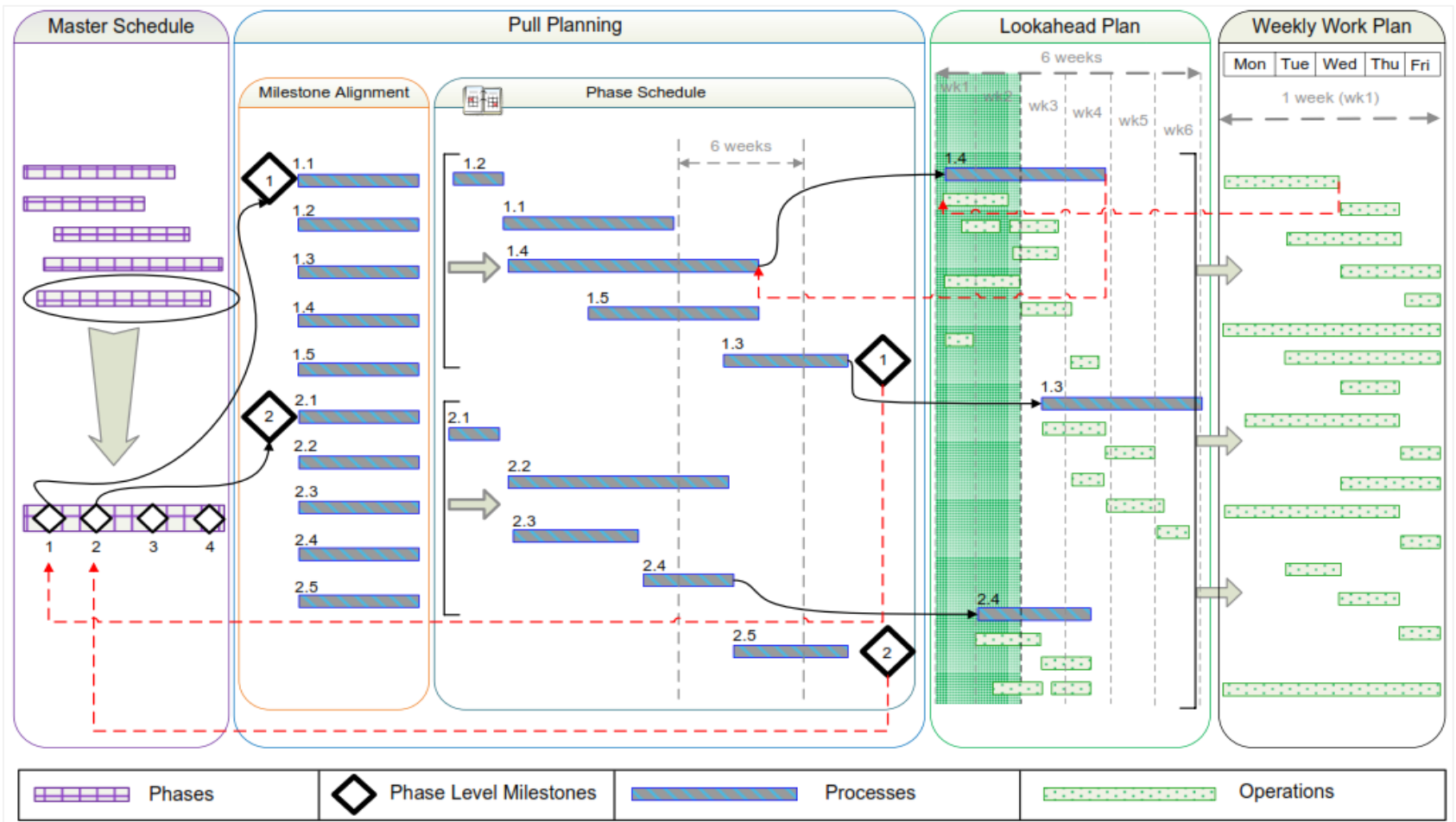


Figura 26. Desarrollo de la programación.

Fuente: Hamzeh, F. (2009). Is The Last Planner System Applicable To Design? A Case Study. 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

En la figura 26 se muestra un esquema grafico de los cuatro niveles de planificación que comprende *Last Planner System*. El *Master Schedule*, primer proceso, incorpora las expectativas del propietario, los planes de logística, y las estrategias de trabajo, presentando hitos y actividades a nivel de fase. En el *Milestone Alignment* se ajustan las expectativas de los participantes por cada hito y se prepara el *Phase Schedule*, ésta implica la desagregación por fase, la programación inversa, y el reajuste de la programación.

2.9.4.1 Indicadores de Last Planner System

2.9.4.1.1 Porcentaje de plan cumplido (PPC)

El PPC mide la eficiencia de la planificación operacional como su confiabilidad real. La medición del PPC, es el primer paso para aprender de las fallas e implementar mejoras. El PPC evalúa hasta qué punto *Last Planner System* fue capaz de anticiparse al trabajo que se haría en la semana siguiente. Es decir, compara lo que será hecho según el Programa de Trabajo Semanal con lo que realmente fue hecho, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación.

Es importante destacar que el PPC mide el cumplimiento de lo programado, no el avance de obra, es decir, cuán acertado o no han sido los compromisos adoptados, el manejo de las restricciones, etc. 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. Su fórmula del PPC es:

$$PPC(\%) = \frac{N^{\circ} \text{Compromisos Completados}}{N^{\circ} \text{de compromisos}} \times 100 \dots \dots \dots [1]$$

2.9.4.1.2 Causas de no cumplimiento (CNC)

Las Causas de No Cumplimiento son todas aquellas causas que llevan a no cumplir con la tarea programada para la semana. El identificar estas causas nos llevará a una retroalimentación para futuro, ya que podremos ir haciendo recopilaciones

de las causas más recurrentes y en las que debemos tener más cuidado para las siguientes semanas o para próximos proyectos. La importancia de las Causas de No Cumplimiento es el mejoramiento continuo para no volver a repetir estos errores en planificaciones futuras.

Algunas Causas de No Cumplimiento son: mala programación de actividades, atraso en la entrega de planos, falta de mano de obra, falta de equipos, mala ejecución de las actividades, etc.

2.9.4.1.3 Causa raíz de las CNC – Los 5 por qué

Una causa raíz es la causa inicial de una cadena sucesiva que llevan a un efecto o problema en particular. Generalmente, el uso de la causa raíz es para describir el lugar en la cadena en donde se podría implementar una intervención y así evitar resultados no deseados.

Para lograr llegar a la causa raíz de la CNC se recomienda utilizar el método de los 5 por qué. La técnica de los 5 por qué es un método que consiste en identificar la cadena de eventos que hay tras una CNC haciendo la misma pregunta sucesivamente las veces que sea necesario para lograr llegar al verdadero problema.

Ejemplo: El problema de una pega al hacer la termofusión de la tubería.

Preguntas:

¿Por qué salió mal la soldadura?

Porque las mordazas de la máquina no ajustan bien.

¿Por qué las mordazas no ajustan bien?

Porque las uniones de las mordazas están sueltas

¿Por qué están sueltas las mordazas?

Porque se rompió el perno de las uniones de las mordazas y colocamos pernos hechizos.

¿Por qué colocamos pernos hechizos?

Porque no contábamos con un repuesto en este frente de trabajo

¿Por qué no contamos con un repuesto en este frente de trabajo?

Porque no comunicamos al supervisor encargado de este frente sobre lo ocurrido para que él pudiera conseguir el repuesto.

El hecho que la técnica tenga el nombre de los 5 por qué no significa que haya que acercarnos exactamente a 5 preguntas, sino que es una invitación a hacer varias iteraciones para encontrar la causa raíz. Esta técnica se utilizó por primera vez en Toyota durante la evolución de sus metodologías de fabricaciones.

2.9.4.1.4 Acciones Correctivas

Una vez identificada la causa raíz del incumplimiento de las actividades programadas se debe tomar acciones que permitan corregir estos incumplimientos de manera que no se vuelva a repetir en el futuro.

2.10 STANDARD WORK

El *Standard Work* está basado en *Kaizen* (mejora continua), una herramienta *lean* del Sistema de Producción Toyota. Es un elemento clave para el éxito, el proceso de producción es más organizado y las oportunidades de mejora pueden hacerse más evidentes. *Standard Work* debe estar centrado en el movimiento de personas y asegurar que el proceso sea repetible y lo más cómodo posible.

2.10.1 Takt Time

Es el tiempo a destinar para la obtención de cada unidad de producto. Para que este tiempo se convierta en el ciclo del proceso, es decir, el tiempo que transcurre desde que se obtiene una unidad de producto acabado hasta que se obtiene la siguiente, cada puesto de trabajo debe entregar al siguiente una

unidad de producto a este mismo ritmo y, con ello, el último puesto entregará, a su vez, una unidad acabada también a este ritmo. (Cuatrecasas, 2010, p.201)

$$Tack\ Time = \frac{Tiempo\ Disponible\ para\ Operar}{Producción\ a\ Obtener} \dots\dots\dots [2]$$

En proyectos de construcción el *tack time* es conocido como el Ratio de Producción y se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$Ratio = \frac{Jornada}{Rendimiento} = \frac{Producción}{Trabajo} = \frac{Horas\ Hombre}{Metrado} \dots\dots\dots [3]$$

Una vez que se determina el *takt time* podemos calcular el *Line Balancing* (Balanceo de Carga-Sectorización) y *work sequence* (Tren de Actividades).

2.10.2 Line Balancing

El balance de la línea de producción es hacer el estudio de los tiempos que implica las diferentes estaciones de trabajo. El objetivo es que todas las estaciones de trabajo dentro línea de producción tengan el mismo tiempo para completar un ciclo.

Bajo este concepto haremos la sectorización para nuestro proyecto de instalación de Tuberías *underground* para un sistema de agua contraincendios en el cual se tendrá que hacer un balance de los sectores.

2.10.2.1 Sectorización

Se llama sectorización al proceso de dividir la obra en porciones más pequeñas llamadas sectores. Cada sector debe tener un metrado aproximadamente igual, pero no siempre se cumple este último, pues a veces tenemos sectores con metrado similar pero la dificultad del trabajo es mayor a comparación de otro sector para estos casos predominará los ratios de producción y no los metrados.

A continuación se detalla la sectorización de una obra teniendo en cuenta metrados similares en cada sector y en otro teniendo en cuenta los ratios de producción.

2.10.2.1.1 Sectorización: El metrado es predominante

Para esta sectorización se tienen los ratios constantes, predominando los metrados.

Pasos:

1. Seleccionar los elementos incidentes, colocarlo según indica el formato.
2. Hacer el metrado total de cada elemento y colocarlo en el formato
3. Los ratios de cada elemento deben ser colocados según indica el formato (a y b).
4. Decidir en cuantos sectores dividiremos la obra, de acuerdo a las especificaciones técnicas y restricciones propias de la misma obra.
5. Metrar todos los elementos pertenecientes a cada sector y multiplicarlos con su ratio correspondiente obteniendo cantidad de horas hombre. Finalmente comparar las horas hombre de cada sector los cuales deben ser similares, de lo contrario mover algunos elementos a otro sector hasta conseguir horas hombre similares en cada sector.
6. Finalmente se calculara la eficiencia la cual se obtiene se dividir horas hombre previstas entre horas hombre de diseño, esto nos indicara si estamos bien con nuestro balance de horas hombre.

A continuación se muestra el formato en la figura 27 y 28 que nos ayudará a realizar dichos cálculos.

2.10.2.1.3 Sectorización: cuando no se puede lograr trabajos repetitivos para toda la obra

Este caso es usado cuando no se sigue un tren de actividades para toda la obra de construcción, es decir, cuando la obra presenta mucha variabilidad.

A continuación indicaremos las fórmulas para el formato de la figura 29 y 30:

Ratio Meta: Se obtiene de Análisis de Costo Unitario (APU), en la columna “cantidad”. También podemos obtenerlo por experiencia de otros proyectos similares.

$$Ratio = \frac{HH}{Metrado} \dots \dots \dots [3]$$

$$Ratio_{Programación} = \frac{HH_{Programadas}}{Metrado} \dots \dots \dots [4]$$

$$HH_{Requeridas} = (Metrado) \times (Ratio \text{ Meta}) \dots \dots \dots [5]$$

$$HH_{Programadas} = (Nro \text{ hombres}) \times (Jornada) \dots \dots \dots [6]$$

| Datos Iniciales Obtenidos del Proyecto | | | | Datos obtenidos Según la Distribución del Metrado | | | | (Número de Hombres) | | | | | | |
|---|------------------------|-----|---------|--|---------------|----------------|------------|-----------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| LOOKAHEAD | | | | | | | | | SEMANA 25 | | | | | |
| Descripción de la Actividad | Nombre de la Cuadrilla | Und | Jornada | Metrado Total | HH Requeridas | HH Programadas | Ratio Meta | Ratio de Programación | L | M | M | J | V | S |
| | | | | | | | | | 01-junio-09 | 02-junio-09 | 03-junio-09 | 04-junio-09 | 05-junio-09 | 06-junio-09 |
| MANO DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| NOMBRE DE LA TAREA | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ⋮ | | | | | | | | | |
| METRADOS | | | | | | | | | | | | | | |
| NOMBRE DE LA TAREA | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ⋮ | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | (Metrado Distribuido) Metrado Programado | | | | | |

Figura 29. Este formato se utilizara cuando nuestro proyecto presenta demasiada variabilidad. Fuente: Elaboración propia [Excel]

El metrado distribuido, según se indica en la figura 29 se refiere a cuánto estamos dispuestos avanzar cada día y no necesariamente estos metrados son iguales para cada día.

| LOOKAHEAD | | | | | | | | | SEMANA 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|--------------------------|---------|---------------|---------------|----------------|------------|-----------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--------------------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Descripción de la Actividad | Nombre de la Cuadrilla | Und | Jornada | Metrado Total | HH Requeridas | HH Programadas | Ratio Meta | Ratio de Programación | L | M | M | J | V | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 01-junio-09 | 02-junio-09 | 03-junio-09 | 04-junio-09 | 05-junio-09 | 06-junio-09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MANO DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOMBRE DE LA TAREA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| METRADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOMBRE DE LA TAREA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Resumen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HH Requeridas HH Programadas $\text{Eficiencia} = (\text{HH Requeridas}) / (\text{HH Programadas})$ 5 | | | | | | | | | <table border="1"> <tr> <td rowspan="3">ACTIVIDAD 1</td> <td>CUADRILLA 01</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>CUADRILLA 02</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>CUADRILLA 03</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PERSONAL EFECTIVO</td> <td>CUADRILLA 01</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>CUADRILLA 02</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>CUADRILLA 03</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>TOTAL</td> <td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">PERSONAL REAL</td> <td>CUADRILLA 01</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>CUADRILLA 02</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>CUADRILLA 03</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>TOTAL</td> <td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>HH PROG. REALES</td> <td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>TOTAL DE HH PROG. REALES</td> <td colspan="11">0.0</td> </tr> </table> | | | | | | ACTIVIDAD 1 | CUADRILLA 01 | | | | | | | | | | | | | | CUADRILLA 02 | | | | | | | | | | | | | | CUADRILLA 03 | | | | | | | | | | | | | | PERSONAL EFECTIVO | | CUADRILLA 01 | | | | | | | | | | | | | | | CUADRILLA 02 | | | | | | | | | | | | | | | CUADRILLA 03 | | | | | | | | | | | | | | | TOTAL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PERSONAL REAL | CUADRILLA 01 | | | | | | | | | | 4 | | | | CUADRILLA 02 | | | | | | | | | | | | | | CUADRILLA 03 | | | | | | | | | | | | | | | | TOTAL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | HH PROG. REALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | | TOTAL DE HH PROG. REALES | 0.0 | | | | | | | | | | |
| ACTIVIDAD 1 | CUADRILLA 01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CUADRILLA 02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CUADRILLA 03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL EFECTIVO | | CUADRILLA 01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CUADRILLA 02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CUADRILLA 03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | TOTAL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL REAL | CUADRILLA 01 | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CUADRILLA 02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CUADRILLA 03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | TOTAL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | HH PROG. REALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | TOTAL DE HH PROG. REALES | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 30. Secuencia de llenado del formato.
Fuente: Elaboración propia [Excel]

El formato de la figura 29 y 30 es el que se eligió para el presente trabajo de investigación, el cual será detallado en el capítulo 3.

2.10.3 Work Sequence

Work Sequence nace con la finalidad de lograr mejores resultados de calidad, la secuencia de trabajo debe contener el mayor detalle posible de las actividades. Con la elaboración de la secuencia de actividades, es fácil observar cuando algo está saliendo mal.

2.10.3.1 Tren de actividades

Es una estrategia de ejecución, aplicable principalmente a proyectos de poca variabilidad y que físicamente el trabajo sea divisible en partes iguales.

El tren de actividades es similar a la línea de producción de las fábricas, en las cuales la unidad de trabajo avanza de estación en estación llegando a obtener el producto final al culminar el ciclo; en el caso de un proyecto de construcción los que avanzan de estación en estación son las cuadrillas de trabajo, tener presente que para el caso de un proyecto de construcción una estación es un sector.

Capítulo 3

IMPLEMENTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION

3.1 PROYECTO EN ESTUDIO

El proyecto que se eligió en el presente trabajo de investigación es las Bambas, una mina a tajo abierto y ubicada a más de 3500 msnm.

Las Bambas es una mina de cobre de gran envergadura. La planta concentradora ha sido diseñada para tratar 140.000 toneladas diarias de mineral (lo cual equivale a 51,1 millones de toneladas por año). La mina produce concentrados de cobre que contienen oro y plata como subproductos, así como un concentrado de molibdeno separado; el procesamiento se efectúa mediante técnicas convencionales de chancado, molienda y flotación. Se estima que la operación de Las Bambas dure más de 20 años dado que su potencial de exploración es considerable. (Minerals and Metals Group, s.f.)



Figura 31. Vista Panorámica de la planta concentradora Las Bambas.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)

La zona mineralizada fue explorada por varias empresas desde 1911. El Estado Peruano inició la licitación del proyecto el 2003 y en agosto de 2004 fue adjudicado a la empresa Xstrata AG Suiza, quien ofertó 121 millones de dólares. El 1 de octubre de 2004 el Estado firmó un contrato de opción con dicha empresa.

El año 2013 el proyecto minero fue transferido a Glencore-Xstrata (dada la fusión de ambas empresas) y luego, en agosto de 2014, fue vendido al consorcio chino MMG. Este consorcio, está conformado por MMG como accionista mayoritario y tiene calidad de operador (62.5%), una subsidiaria propiedad de Gouxin International Investment (22.5%) y CITIC Metal Co. Ltd. (15%). (CooperAccion, 2015, p. 5)

El proyecto Minero las Bambas tuvo una inversión inicial de US\$ 5200 millones para su construcción. Bechtel³, fue la empresa encargada de ejecutar la construcción Las Bambas bajo un contrato EPCM (*Engineering, Procurement, Construction Management*)⁴. La construcción fue de tipo *Fast Track*⁵, siendo la empresa Graña y Montero (subcontratista de Bechtel) quien hizo la construcción de la Planta (Anexo 1), inició a mediados del 2012 y terminó en el 2015.

³ Bechtel: Es una compañía de los Estado Unidos, dedicado a la construcción, infraestructuras e ingeniería desde el año 1898.

⁴ Engineering, Procurement, Construction and Management [EPCM]. Es un tipo de contrato, donde la empresa se encarga de la ingeniería, Procura, Construcción y Gerencia.

⁵ Fast Track: Traducido al castellano significa “acelerado”, es un tipo de proyecto que no espera hasta tener concluido el diseño para empezar con la ejecución sino que lo hace en paralelo a la construcción.



Figura 32. Vista aérea del proyecto minero Las Bambas.
Fuente: Elaboración propia. [Google Earth]

3.1.1 Ubicación del proyecto:

Las Bambas se ubica a más de 3.500 m.s.n.m., entre las provincias de Cotabambas y Grau, Región Apurímac, a 70 kilómetros, en línea recta, al sudeste de la ciudad de Abancay (Anexo 2).



Figura 33. Ubicación del proyecto Las Bambas.
Fuente: MMG. (s.f.). *Las Bambas*. Extraído de:
<http://www.lasbambas.com/acerca-de-las-bambas/ubicacion.html>



Figura 34. Acceso al proyecto Minero Las Bambas desde la ciudad de Cusco.
Fuente: Elaboración propia. [Google Earth]

A continuación en la figura 35 se detalla la cronología que se siguió hasta el inicio de operación de la mina las Bambas.

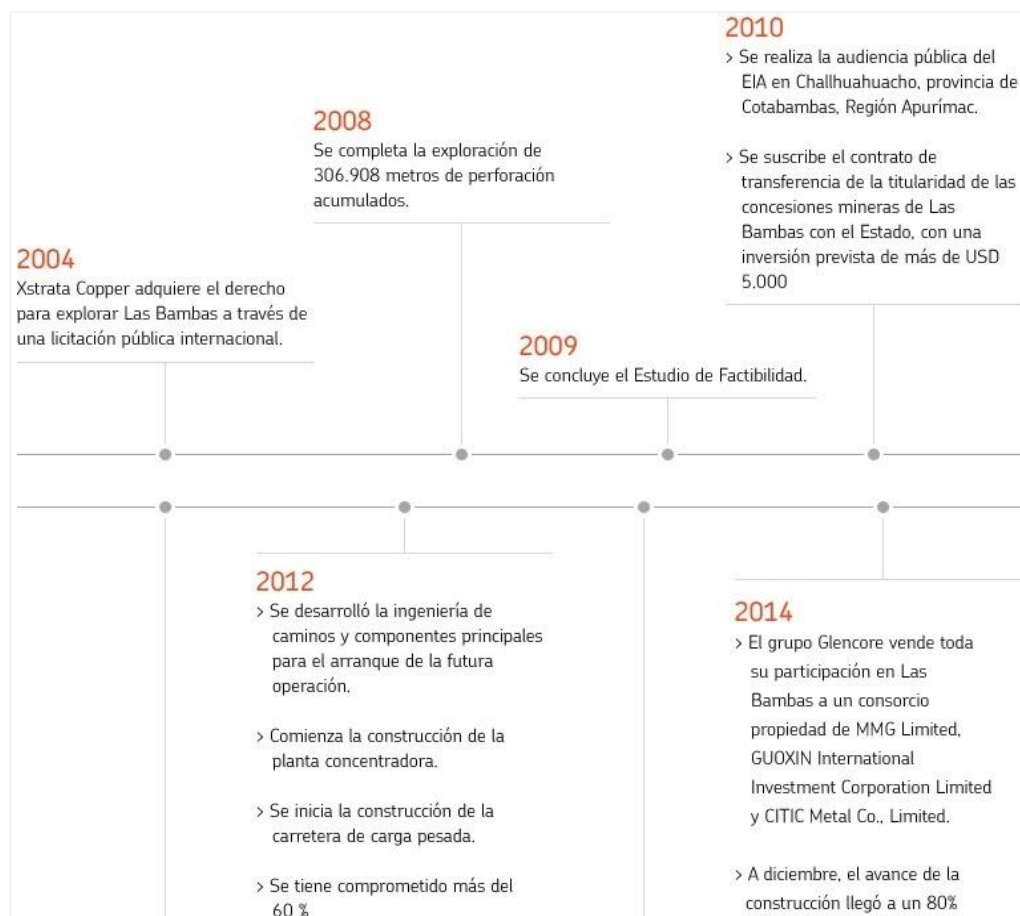




Figura 35. Cronología del proyecto Las Bambas.

Fuente: MMG. (s.f.). *Las Bambas*. Extraído de:

<http://www.lasbambas.com/acerca-de-las-bambas/historia.html>

3.1.2 Características de la localidad

3.1.2.1 Clima

“Los principales tipos de climas que se pueden identificar de acuerdo a la clasificación de Schroeder-Valdivia, son tres: Clima frío, clima de tundra Seca y clima de Nieve”. (Ñaupas Paitán, 2005)

El potencial de recursos climáticos es limitado, debido a la altitud y las deficiencias térmicas, ya que la zona de estudio se encuentra entre los 3,500 m.s.n.m. y los 4,600 m.s.n.m.



Figura 36. Condiciones climáticas del proyecto minero Las Bambas.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2014)

3.1.2.2 Población

“La población total de los centros poblados de la zona de estudio tanto rurales y urbanos sólo llega a 2,285 habitantes y el PEA, sería el 42% de ese total, es decir 959 habitantes”. (Ñaupas Paitán, 2005)



Figura 37. Población de las zonas de influencia del proyecto Minero Las Bambas.
Fuente: [Fotografía de Luis Rodríguez]. (2015). Extraído de:
<https://magdalenadelmar1.wordpress.com/category/uncategorized/>

3.1.2.3 Geología

Tiene una geología variada, en cuanto a formaciones estratigráficas presenta las siguientes formaciones geológicas: Hualhuani, Maras y Ferrobamba, cuyas edades varían del Jurásico superior al cretáceo medio y superior. La formación Ferrobamba, en la que se encuentran los yacimientos mineros, está constituida por una potente serie de 600 a 700 m de calizas frecuentemente fosilíferas. Estas calizas son detríticas y contienen numerosos granos de cuarzo redondeado y alterno con dolomitas. (Ñaupas Paitán, 2005)



Figura 38. Geología del proyecto minero Las Bambas.

Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2014)

3.1.2.4 Topografía

La topografía de Las Bambas es variada, corresponde a la meseta alto andina, que se originó por levantamiento epirogénico durante el cuaternario y por la acción combinada de un conjunto de procesos geomórficos exógenos. Estas altas mesetas presentan un relieve de suave a fuerte pendiente que corresponde a la "Superficie Puna". Presenta superficies lapiaces, producto de la erosión pluvial, así como depresiones, dolimos, cuevas, puentes naturales y valles secos, debidos a la erosión pluvial y de aguas subterráneas. (Ñaupas Paitán, 2005)



Figura 39. Topografía del proyecto minero Las Bambas.

Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2014)

3.2 APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION AL CASO DE ESTUDIO

3.2.1 Estructura disgregada del trabajo (WBS)

La estructura básica del WBS⁶ viene definida por la identificación del tipo de proyecto, la identificación de las disciplinas, la identificación de los sistemas y la identificación de los tipos de entregables. Cada una de estas divisiones en esa secuencia, define la estructura del WBS que debe ser respetada para el control de los entregables

3.2.2 Entregable:

Unidad mínima de obra, es el elemento o conjunto de ellos descritos en los planos y/o especificaciones. Este tiene relación con el costo directo. La conformación del entregable supone el inicio y fin de un proceso o subproceso continuo en un periodo pre-definido.

⁶ WBS es la sigla para WORK BREAKDOWN STRUCTURE, que traducido significa ESTRUCTURA DISGREGADA DEL TRABAJO.

La identificación de los entregables empieza por la definición del alcance considerando tres aspectos fundamentales en una secuencia pre-establecida como sigue:

DISCIPLINA ▼ SISTEMAS ▼ ENTREGABLES ▼

Sin embargo, el nivel de detalle no es suficiente para efectos de un mejor control, para ello no solo se requiere llegar al tipo de entregable, sino identificar el entregable con un código llamado “TAG” y posteriormente se le debe asignar la prueba que le corresponde.

DISCIPLINA ▼ SISTEMAS ▼ ENTREGABLES ▼ TAG ▼ PRUEBAS ▼

Para un mejor control de todo el proyecto se tiene que dividir en áreas y *facilities* (Anexo 3), quedando finalmente en:

AREA ▼ FACILITY ▼ DISCIPLINA ▼ SISTEMAS ▼ ENTREGABLES ▼ TAG ▼ PRUEBAS ▼

A continuación se muestra un ejemplo:

Tabla 2. Modelo de entregable de la disciplina piping – sistema de agua conraincendios.

| | | | | | PROTOCOLOS ENTREGADOS A INGENIERIA | | | | | | | | |
|------|---------------|---|---|---------------|------------------------------------|----------|------------------|-----------|------------|----------------|-----------|-------------|------------------|
| | | | | | VISTAS | | | | ENTERRADAS | | | CLEANLINESS | TOTAL DE PRUEBAS |
| AREA | FACILITY | SYSTEMA | DESCRIPCION DEL SISTEMA | TAG N° | INSPECCION | SOPORTES | UNIONES BRIDADAS | TOTAL "V" | INSPECCION | UNIONES BRIDAS | TOTAL "E" | | |
| 7 | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00102 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00604 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00605 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00606 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00607 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00608 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00609 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00611 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00612 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00613 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00614 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00615 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00616 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00618 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00619 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00620 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00622 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 0921 | 0921-PFW-0001 | Sistema Distribución Agua Contraincendios | 0921-WF-00624 | | | | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | |

Nota: Recuperado de Graña y Montero. (2012) [Excel], Las Bambas: Apurímac.

El Proyecto contaba con 08 disciplinas, 61 *facilities*, 385 sistemas, entregables 123 (solo disciplina *piping*).

Las disciplinas principales que conformaron el proyecto fueron 8: *piping*, mecánica, movimiento de tierras, estructuras, Instalaciones eléctricas, instrumentación, civil y pipeline. En el presente trabajo estará enfocado a la disciplina *piping*, ésta como ya se mencionó cuenta con 123 sistemas las cuales cada una de ellas son entregables y a continuación las mencionaremos:

Tabla 3. Sistemas del proyecto minero Las Bambas-disciplina *piping*

| ITEM | FACILITY | PIPING | SISTEMA | METRADO POR SISTEMA | FLUIDOS POR SISTEMA | DESCRIPTION |
|------|----------|--------|----------------|---------------------|---------------------|---|
| 1 | 3 | PIPING | 0240-HC-0001 | 27.91 | PD | Sistema Faja Alimentación Molino SAG 1 |
| 2 | 3 | PIPING | 0240-HC-0002 | 19.44 | PD | Sistema Faja Alimentación Molino SAG 2 |
| 3 | 3 | PIPING | 0240-HC-0003 | 13.47 | PD | Sistema Faja Transferencia Bolas a Molino Bolas |
| 4 | 3 | PIPING | 0240-HRR-0001 | 397.92 | HO | Sistema Recuperación de Material Grueso 1 |
| 5 | 3 | PIPING | 0240-HRR-0002 | 399.14 | HO | Sistema Recuperación de Material Grueso 2 |
| 6 | 3 | PIPING | 0240-PAS-0001 | 767.62 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 7 | 3 | PIPING | 0240-WP-0001 | 524.56 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 8 | 3 | PIPING | 0240-WR-0001 | 907.27 | WR | Sistema Distrb Agua Fresca |
| 9 | 3 | PIPING | 0310-FL-0001 | 769.45 | CR-CW-HO-LOH-LR | Sistema Lubricación y Freno Molino SAG 1 |
| 10 | 3 | PIPING | 0310-FL-0002 | 739.38 | CR-CW-HO-LOH-LR | Sistema Lubricación y Freno Molino SAG 2 |
| 11 | 3 | PIPING | 0310-FL-0003 | 671.82 | CR-CW-HO-LOH-LR | Sistema Lubricación y Freno Molino Bolas 1 |
| 12 | 3 | PIPING | 0310-FL-0004 | 654.67 | CR-CW-HO-LOH-LR | Sistema Lubricación y Freno Molino Bolas 2 |
| 13 | 3 | PIPING | 0310-NBGP-0001 | 25.46 | PD | Sistema Molino SAG 1 |
| 14 | 3 | PIPING | 0310-NBGP-0002 | 25.53 | PD | Sistema Molino SAG 2 |
| 15 | 3 | PIPING | 0310-NBGP-0003 | 106.18 | PD-SL | Sistema Molino Bolas 1 |
| 16 | 3 | PIPING | 0310-NBGP-0004 | 105.70 | PD-SL | Sistema Molino Bolas 2 |
| 17 | 3 | PIPING | 0310-NCP-0001 | 421.36 | PD-SL-WR | Sistema Ciclón 1 Molino Bolas 1 |
| 18 | 3 | PIPING | 0310-NCP-0002 | 157.20 | PD-SL | Sistema Ciclón 2 Molino Bolas 1 |
| 19 | 3 | PIPING | 0310-NCP-0003 | 145.70 | PD-SL-WR | Sistema Ciclón 3 Molino Bolas 2 |
| 20 | 3 | PIPING | 0310-NCP-0004 | 178.91 | PD-SL-WR | Sistema Ciclón 4 Molino Bolas 2 |

Sistemas del Proyecto Minero Las Bambas-Disciplina Piping

| | | | | | | |
|----|---|--------|----------------|---------|----------------|---|
| 21 | 3 | PIPING | 0310-PAI-0001 | 1360.65 | AI | Sistema Distrb Aire Instrumentación |
| 22 | 3 | PIPING | 0310-PAS-0001 | 2181.48 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 23 | 3 | PIPING | 0310-WB-0001 | 794.40 | CR-CW | Sistema Agua de Enfriamiento Molino SAG 1 |
| 24 | 3 | PIPING | 0310-WB-0002 | 870.17 | CR-CW | Sistema Agua de Enfriamiento Molino SAG 2 |
| 25 | 3 | PIPING | 0310-WB-0003 | 892.61 | CR-CW | Sistema Agua de Enfriamiento Molino Bolas 1 |
| 26 | 3 | PIPING | 0310-WB-0004 | 965.94 | CR-CW | Sistema Agua de Enfriamiento Molino Bolas 2 |
| 27 | 3 | PIPING | 0310-WF-0001 | 382.96 | WG | Sistema Distrb Agua de Sello |
| 28 | 3 | PIPING | 0310-WP-0001 | 4379.27 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 29 | 3 | PIPING | 0310-WR-0001 | 688.68 | WG-WR | Sistema Distrb Agua Fresca |
| 30 | 3 | PIPING | 0310-XO-0001 | 515.36 | PD-WO | Sistema Separador de Agua y Aceite |
| 31 | 3 | PIPING | 0320-HC-0001 | 18.38 | PD | Sistema Fajas de Alimentación a Stockpile 0320-CVB-0010 & 0011 |
| 32 | 3 | PIPING | 0320-HC-0002 | 24.28 | PD | Sistema de Alimentación a Chancador Pebbles 1 |
| 33 | 3 | PIPING | 0320-HC-0003 | 24.28 | PD | Sistema de Alimentación a Chancador Pebbles 2 |
| 34 | 3 | PIPING | 0320-HC-0004 | 24.28 | PD | Sistema de Alimentación a Chancador Pebbles 3 |
| 35 | 3 | PIPING | 0320-NBCS-0001 | 31.20 | LO-LR | Sistema Chancador Pebbles 1 |
| 36 | 3 | PIPING | 0320-NBCS-0002 | 31.20 | LO-LR | Sistema Chancador Pebbles 2 |
| 37 | 3 | PIPING | 0320-NBCS-0003 | 31.20 | LO-LR | Sistema Chancador Pebbles 3 |
| 38 | 3 | PIPING | 0320-PAS-0001 | 339.76 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 39 | 3 | PIPING | 0320-WP-0001 | 620.83 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 40 | 3 | PIPING | 0391-CJ-0001 | 949.19 | ML | Sistema Preparación de Cal |
| 41 | 3 | PIPING | 0391-CJ-0002 | 2390.95 | ML | Sistema Almacenamiento y Distribución de Cal |
| 42 | 3 | PIPING | 0391-PAS-0001 | 11.35 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 43 | 3 | PIPING | 0392-CX-0001 | 2301.64 | SF | Sistema Preparación de Reactivos 1 |
| 44 | 3 | PIPING | 0392-CX-0002 | 1448.73 | FS-MI-PD | Sistema Preparación de Reactivos 2 |
| 45 | 3 | PIPING | 0392-CX-0003 | 2266.71 | FS | Sistema Colector Secundario |
| 46 | 3 | PIPING | 0392-CXF-0001 | 118.89 | FL | Sistema Planta de Floculantes Espesador de Concentrado CU-MO |
| 47 | 3 | PIPING | 0392-CXF-0002 | 218.14 | FL | Sistema Planta de Floculantes Espesador de Relaves |
| 48 | 3 | PIPING | 0392-FDT-0001 | 1190.10 | FO | Sistema Distrb y Almacenamiento de Combustible |
| 49 | 4 | PIPING | 0330-CJ-0001 | 853.14 | ML | Sistema Planta de Cal |
| 50 | 4 | PIPING | 0330-JA-0001 | 416.12 | PD-SL-SS | Sistema Analizador de Partículas |
| 51 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0001 | 292.29 | FO-FS-MI-SF-SL | Sistema Línea 1 Celdas de Flotación Rougher Scavenger |
| 52 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0002 | 278.82 | FO-FS-MI-SF-SL | Sistema Línea 2 Celdas de Flotación Rougher Scavenger |
| 53 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0003 | 70.01 | SL | Sistema Alimentación Celdas Rougher 1 |
| 54 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0004 | 321.12 | FO-FS-MI-SF-SL | Sistema Línea 3 Celdas de Flotación Rougher Scavenger |
| 55 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0005 | 313.31 | FO-FS-MI-SF-SL | Sistema Línea 4 Celdas de Flotación Rougher Scavenger |

Sistemas del Proyecto Minero Las Bambas-Disciplina Piping

| | | | | | | |
|----|---|--------|----------------|---------|-------------|--|
| 56 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0006 | 76.48 | SL | Sistema Alimentación Celdas Rougher 2 |
| 57 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0007 | 334.52 | SL | Sistema Celdas Primera Limpieza |
| 58 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0008 | 278.27 | SL | Sistema Celdas Limpieza Scavenger |
| 59 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0009 | 669.01 | SL | Sistema Celdas Segunda Limpieza |
| 60 | 4 | PIPING | 0330-NBF-0010 | 284.08 | SL | Sistema Celdas Tercera Limpieza |
| 61 | 4 | PIPING | 0330-NBGR-0001 | 209.34 | SL | Sistema Remolienda 1 |
| 62 | 4 | PIPING | 0330-NBGR-0003 | 295.97 | SL | Sistema Remolienda 3 |
| 63 | 4 | PIPING | 0330-NCS-0001 | 217.87 | PD | Sistema Ciclón 1 Flotación |
| 64 | 4 | PIPING | 0330-NCS-0002 | 147.24 | SL | Sistema Ciclón 2 Flotación |
| 65 | 4 | PIPING | 0330-NCS-0003 | 130.57 | SL | Sistema Ciclón 3 Flotación |
| 66 | 4 | PIPING | 0330-PAE-0001 | 91.60 | AB | Sistema Suministro Aire |
| 67 | 4 | PIPING | 0330-PAI-0001 | 3733.96 | AI-AP | Sistema Distrb Aire Instrumentación |
| 68 | 4 | PIPING | 0330-PAS-0001 | 2512.96 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 69 | 4 | PIPING | 0330-WF-0001 | 876.44 | WG | Sistema Distrb Agua Sello |
| 70 | 4 | PIPING | 0330-WP-0001 | 3747.80 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 71 | 4 | PIPING | 0330-WR-0001 | 3711.72 | WR | Sistema Distrb Agua Fresca |
| 72 | 4 | PIPING | 0330-XO-0001 | 111.59 | WO | Sistema Separador de Agua y Aceite |
| 73 | 4 | PIPING | 0393-PAI-0001 | 91.92 | AI-AP | Sistema Distrb Aire Instrumentación |
| 74 | 4 | PIPING | 0393-PAS-0001 | 278.03 | AP-CR-CW | Sistema Distrb Aire Planta |
| 75 | 5 | PIPING | 0330-TWR-0001 | 758.81 | PD | Sistema Agua Recuperada |
| 76 | 5 | PIPING | 0340-NSTP-0001 | 1172.60 | PD-SL-WM-WP | Sistema Espesador de Concentrado Cu-Mo |
| 77 | 5 | PIPING | 0340-TWR-0001 | 733.96 | PD | Sistema Agua Recuperada |
| 78 | 5 | PIPING | 0340-WP-0001 | 903.05 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 79 | 5 | PIPING | 0410-CXF-0001 | 165.07 | FL | Sistema Distrb Floculantes |
| 80 | 5 | PIPING | 0410-NSTS-0001 | 1707.55 | PD-SL-WM | Sistema Espesador de Concentrado CU |
| 81 | 5 | PIPING | 0410-PAI-0001 | 157.86 | AI | Sistema Distrb Aire Instrumentación |
| 82 | 5 | PIPING | 0410-PAS-0001 | 93.95 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 83 | 5 | PIPING | 0410-WF-0001 | 73.40 | WG | Sistema Distrb Agua Sello |
| 84 | 5 | PIPING | 0410-WP-0001 | 238.18 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 85 | 5 | PIPING | 0510-NTP-0001 | 498.57 | PD-TL | Sistemas Bombas de Recirculación 1 |
| 86 | 5 | PIPING | 0510-NTP-0002 | 485.92 | PD-TL-WP | Sistemas Bombas de Recirculación 2 |
| 87 | 5 | PIPING | 0510-NTT-0001 | 260.65 | PD-TL-WM-WP | Sistema Espesador de Relaves 1 |
| 88 | 5 | PIPING | 0510-NTT-0002 | 188.27 | PD-TL-WM-WP | Sistema Espesador de Relaves 2 |
| 89 | 5 | PIPING | 0510-PAS-0001 | 37.00 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 90 | 5 | PIPING | 0510-TWR-0001 | 1842.29 | PD-WD | Sistema Agua Recuperada |

Sistemas del Proyecto Minero Las Bambas-Disciplina Piping

| | | | | | | |
|-----|----|--------|----------------|---------|--------|---|
| 91 | 5 | PIPING | 0510-WF-0001 | 106.90 | WG | Sistema Distrb Agua de Sello |
| 92 | 5 | PIPING | 0510-WP-0001 | 478.52 | WP | Sistema Distrb Agua de Proceso |
| 93 | 6 | PIPING | 0370-CC-0001 | 578.38 | ND | Sistema Distrb NaHS |
| 94 | 6 | PIPING | 0370-JA-0001 | 76.85 | SL | Sistema Muestreador y Analizador |
| 95 | 6 | PIPING | 0370-NBF-0006 | 59.88 | SL | Sistema Celdas Tercera Limpieza |
| 96 | 6 | PIPING | 0370-NBGR-0001 | 20.61 | SL | Sistema Remolienda Molibdeno |
| 97 | 6 | PIPING | 0370-NSTP-0001 | 248.42 | SL | Sistema Tanque Acondicionador |
| 98 | 6 | PIPING | 0370-NSTS-0001 | 239.91 | WP | Sistema Espesador de Concentrado Molibdeno |
| 99 | 6 | PIPING | 0370-PAI-0001 | 184.83 | AI | Sistema Distrb Aire Instrumentación |
| 100 | 6 | PIPING | 0370-PAS-0001 | 275.90 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 101 | 6 | PIPING | 0370-PFW-0001 | 2456.29 | WF | Sistema Distrb Agua Contra Incendios |
| 102 | 6 | PIPING | 0370-PW-0001 | 410.14 | WD | Sistema Distrb Agua Potable |
| 103 | 6 | PIPING | 0370-QSD-0001 | 54.72 | FA | Sistema Limpiador Planta de Molibdeno |
| 104 | 6 | PIPING | 0370-WF-0001 | 0.32 | WG | Sistema Distrb Agua Sello |
| 105 | 6 | PIPING | 0370-WP-0001 | 245.62 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 106 | 6 | PIPING | 0370-WR-0001 | 233.25 | WR | Sistema Distrb Agua Fresca |
| 107 | 6 | PIPING | 0420-PAI-0001 | 232.70 | AI | Sistema Distrb Aire Instrumentación |
| 108 | 6 | PIPING | 0420-PAI-0002 | 47.48 | AP | Sistema Aumentador de Suministro de Aire Planta de Filtros |
| 109 | 6 | PIPING | 0420-PAS-0001 | 122.26 | AP | Sistema Distrb Aire Planta |
| 110 | 6 | PIPING | 0420-PAS-0002 | 47.90 | AP | Sistema Suministro Aire Planta de Filtros |
| 111 | 6 | PIPING | 0420-PW-0001 | 80.26 | WD | Sistema Distrb Agua Potable |
| 112 | 6 | PIPING | 0420-TWR-0001 | 168.04 | FE | Sistema Agua Recuperada |
| 113 | 6 | PIPING | 0420-WP-0001 | 128.77 | WP | Sistema Distrb Agua Proceso |
| 114 | 6 | PIPING | 0420-WR-0001 | 115.24 | WR | Sistema Suministro Agua de Lavado de Tela |
| 115 | 7 | PIPING | 0921-PFW-0001 | 5897.11 | WF | Sistema Almacenamiento y Distribución Agua Contra incendios |
| 116 | 7 | PIPING | 0921-PW-0001 | 6520.75 | WD | Sistema Distrb y Tratamiento Agua Potable |
| 117 | 7 | PIPING | 0921-WP-0001 | 1550.37 | WP | Sistema Almacenamiento y Distribución Agua Proceso |
| 118 | 7 | PIPING | 0921-WR-0001 | 651.73 | WR | Sistema Almacenamiento y Distribución Agua Fresca |
| 119 | 7 | PIPING | 0921-XO-0001 | 52.22 | PD-WO | Sistema Separador de Agua y Aceite |
| 120 | 8 | PIPING | 0931-ESC-0002 | 89.77 | LOH-LR | Sistema Condensadores Síncronos |
| 121 | 8 | PIPING | 0931-WB-0001 | 85.33 | CR | Sistema Enfriamiento Subestación Principal |
| 122 | 8 | PIPING | 0931-XO-0001 | 107.25 | WO | Sistema Separador de Agua y Aceite |
| 123 | 11 | PIPING | 2132-WO-0004 | 1293.10 | WR | Sistema Suministro de Agua de/a Presa Chuspíri |

Nota: Recuperado de Graña y Montero. (2012) [Excel], Las Bambas: Apurímac.

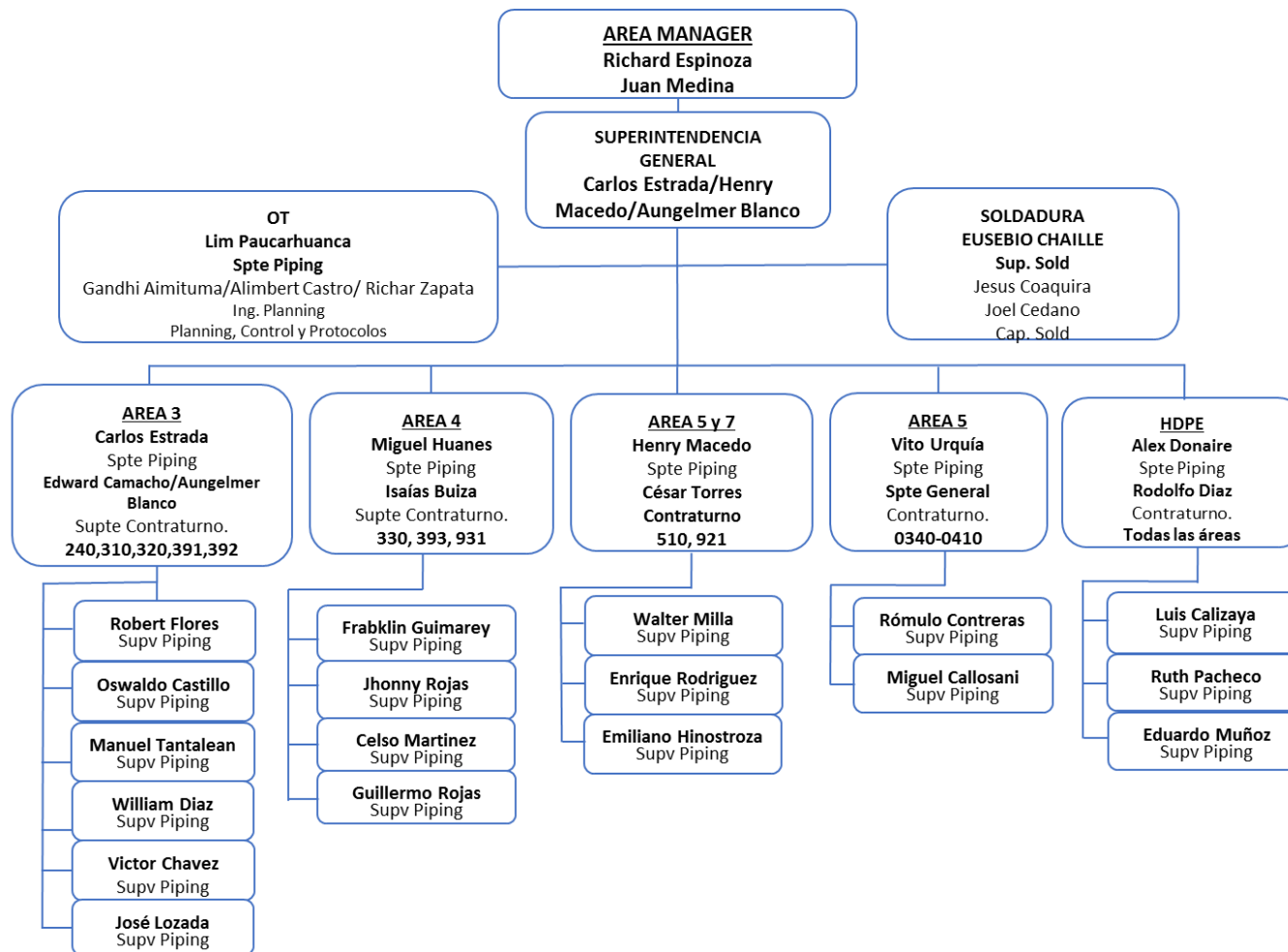


Figura 40. Organigrama-disciplina piping.
Fuente: Elaboración propia. Las Bambas: Apurímac. (2015)

El organigrama de la figura 40 solo fue de la disciplina *piping* y lo conformaban más de 30 personas staff (no manuales), además se contaba con más de 350 personas manuales.



Figura 41. Reuniones diarias de la disciplina Piping.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía],
Las Bambas: Apurímac. (2014)

3.2.3 Building Information Modeling (BIM)

La aplicación de esta herramienta muy poderosa se usó en el proyecto minero Las Bambas y fue de mucha utilidad para la ejecución del sistema de agua contraincendios, pues ayudó a detectar a tiempo las interferencias, a proyectarnos con la programación de los trabajos, plantear otras alternativas de solución frente a problemas, etc. La planta concentradora y sus demás componentes como estaciones de bombeo de agua fueron diseñados en plataformas virtuales como Naviswork y SmatPlant.

Como se mencionó en el Capítulo II, en BIM existen varias dimensiones y en este proyecto se llegó hasta la dimensión 3D. Este diseño no era un simple diseño virtual en 3D, pues incorporaba propiedades y características de cada elemento como tipo de material, si tenía que ir con recubrimiento, indicaba el diámetro de la tubería, tipo de fluido, el plano al cual pertenecía, etc.

A continuación se indica los detalles que tenía una línea de tubería para un sistema de agua contraincendios una vez seleccionada en el SmartPlant o Naviswork.

File: P0921AU04.dgn, Level: 55, Color: 10, Type: Pipe, Object: 627
Linkages: 0 5 1939 1920
Comp no: PPC4T006V06
Construction status: Underground
NPD: 10" 10"
Prep: PE PE
Sch/thk: PN16 PN16
Length: 19824.31
Spool N°:
Iso: 0921-WF-00609-0921A-00
Line no: 10"-0921-WF-00609-M2F0H-NI
Fluid Code: WF
ESP: 0921AP01A
Design Vol: 0921A
Construction status: Underground
Insulation:
Approval Status: Aprobado
Iso sheet: 00
B_pid_drawing: M6-0921-00006

Figura 42. Detalle de una línea de servicio en el SmartPlant o Nasviswork.
Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.

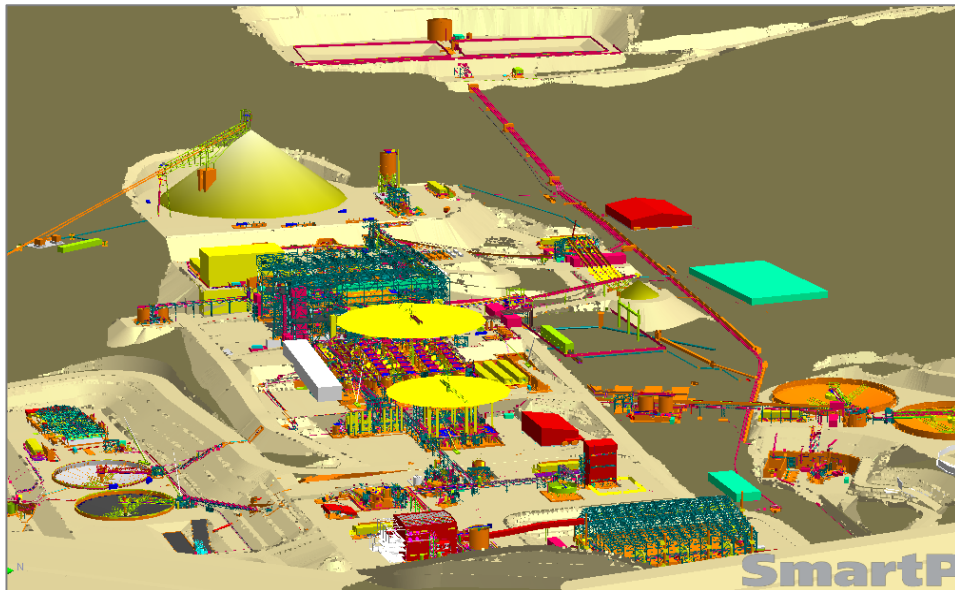


Figura 43. Modelo de la planta concentradora Las Bambas en SmartPlant.
Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.



Figura 44. Avance de la planta concentradora Las Bambas al 90%.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)

La figura 43 es una captura del SamrtPlant y la figura 44 es una fotografía, como se puede apreciar la planta concentradora quedo igual que la maqueta en SmartPlant.

3.2.3.1 Interferencias que se presentaron en la etapa de ejecución

1. Como podemos observar en la figura 45 la tubería de 10 pulg. (hdpe de agua contraincendios) va por encima de la tubería de drenaje de 24 pulg. Estas tuberías pertenecen a la disciplina *piping* (hdpe) y civil (concreto) respectivamente. Al contar con la maqueta virtual en el SamrtPlant se puede coordinar los trabajos con anticipación. En este tipo de proyectos por ejemplo la disciplina *piping* solo maneja planos de tuberías y los civiles también manejan solo planos civiles y si no se contara con la maqueta virtual tal vez se llegaría a instalar primero la tubería de 10 pulg. y para instalar la tubería de 24 pulg. se tendría que desinstalar la tubería de 10 pulg. lo cual generaría un re-trabajo, por lo tanto una perdida.

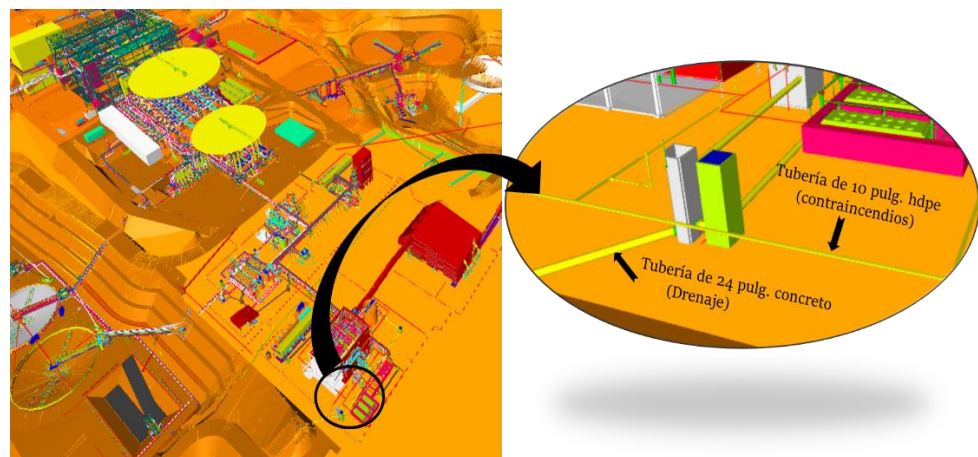


Figura 45. Interferencia entre tuberías de contraincendios y drenaje.
Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.

2. En la figura 46 encontramos otra interferencia con las disciplinas *piping*, civil y eléctrico. Pues como se observa la tubería de hdpe de 10 pulg. en un tramo pasa por encima y en la otra por debajo de la tubería de concreto de 24 pulg., también se observa que la tubería de 10 pulg. pasa por debajo del cajón de concreto que pertenece a la disciplina eléctrica, lo cual implica coordinar entre

las tres disciplinas la forma en que se realizarán los trabajos; sin embargo pese a contar con la maqueta virtual no hubo integración entre las disciplinas, se trabajó de manera aislada, cada disciplina priorizaba su trabajo sin importar si había una actividad previa aún por ejecutar o simplemente por desconocimiento generando re-trabajos, es por ello que proponemos la coordinación de los trabajos entre disciplinas desde la etapa de *Pull Planning*, ya que esta planificación integra a todas las disciplinas o especialidades y tiene “peso” debido a que será encabezado por el gerente de construcción.

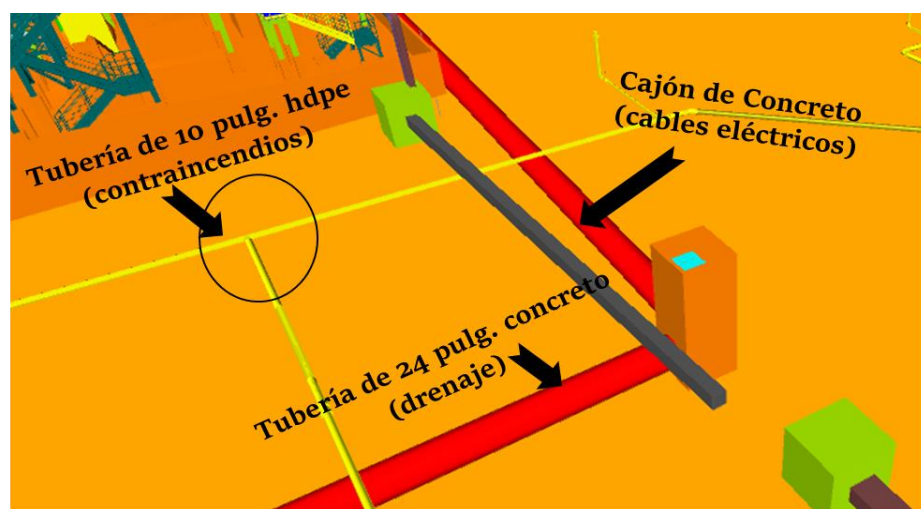


Figura 46. Interferencia entre tuberías de contraincendios, drenaje y cajón de concreto (bancoducto).
Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.

3. En la figura 47 se observa otra interferencia entre las disciplinas *pipiing* y eléctrica. La tubería de 10 pulg. hdpe pasa por debajo del cajón de concreto (disciplina eléctrica) y las tuberías de acero (*pipiing*), esta última estaba a cargo de otra supervisión puesto que su proceso de construcción es diferente a las tuberías de hdpe pero igual se tenía que hacer coordinaciones aunque en esta parte la disciplina *pipiing* lo tenía controlado porque se tenía reuniones diarias para hacer coordinaciones de los diferentes frentes de trabajo con respecto a los equipos, materiales, entre otros encabezados por el gerente de *pipiing*. En este caso se tenía que invitar en las coordinaciones a la disciplina eléctrica.

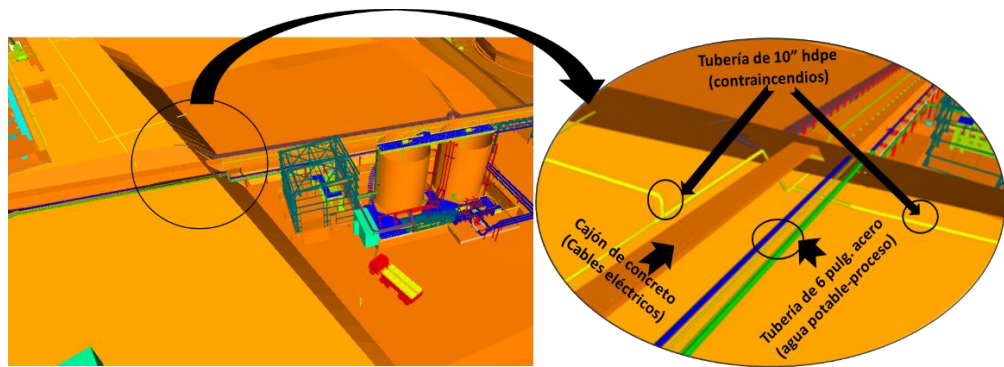


Figura 47. Interferencia entre tuberías de contraincendios, cajón de concreto y otras tuberías de otros servicios.

Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.

3.2.4 Diagrama de flujo

Al tener este diagrama de flujo campo y difundirlo a todas las personas involucradas directamente en el trabajo hace más entendible su ejecución. Líneas abajo se muestra el diagrama de flujo de los pasos a seguir para lograr instalar las tuberías para el sistema de aguas contraincendios.

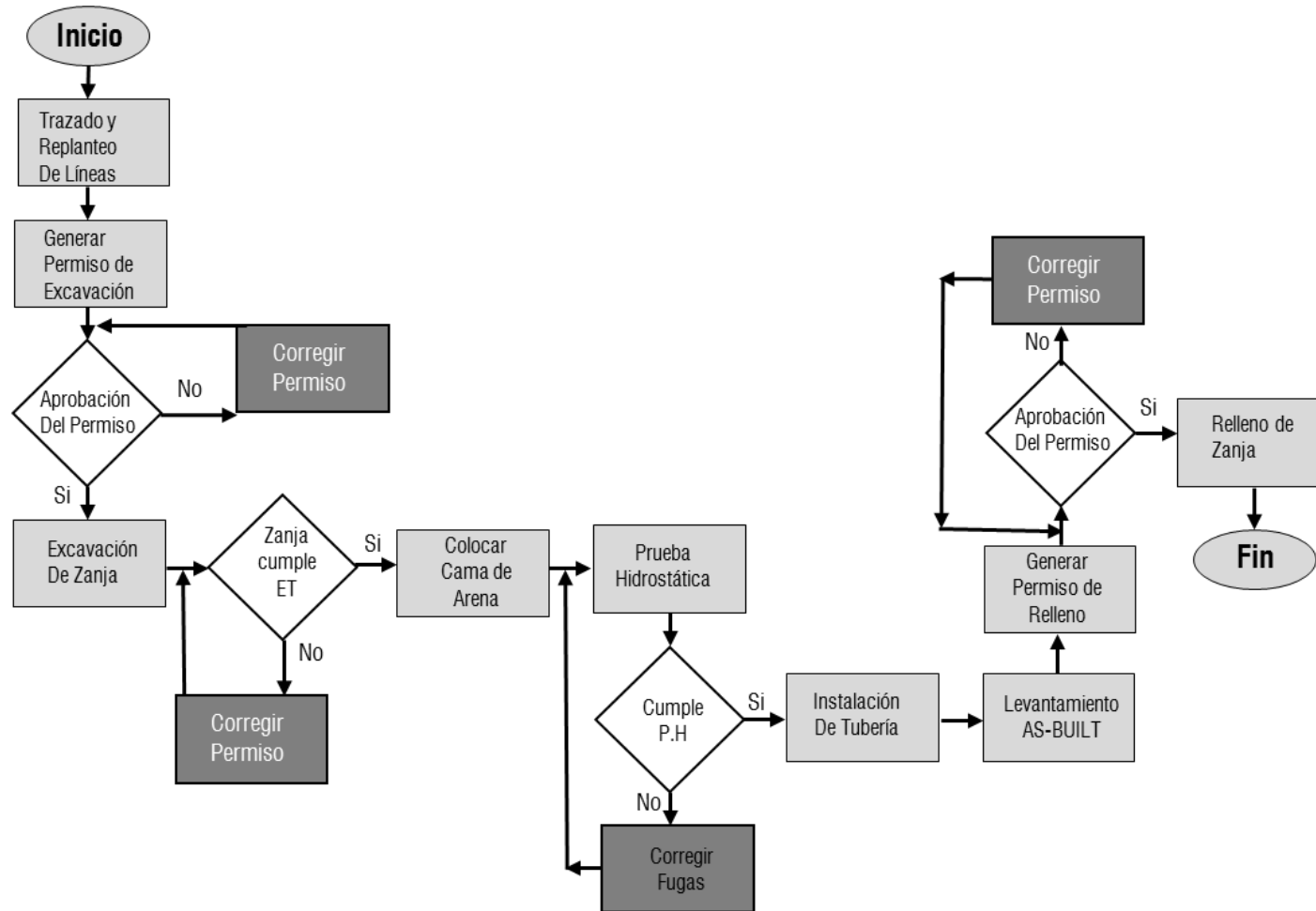


Figura 48. Diagrama de flujo de la distrución de agua contraincendios.
Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Last Planner System – Etapa de planeamiento

3.2.5.1 Master Schedule

Líneas abajo tenemos el *Master Schedule*, donde se muestra la fecha de inicio y fin del sistema de agua contraincendios *Underground* (U/G)⁷, resaltado de color rosado.

Tenemos 3 etapas de las cuales la fecha de la tercera etapa engloba a las otras dos con lo cual podemos concluir que se tiene un plazo de ejecución de 425 días.

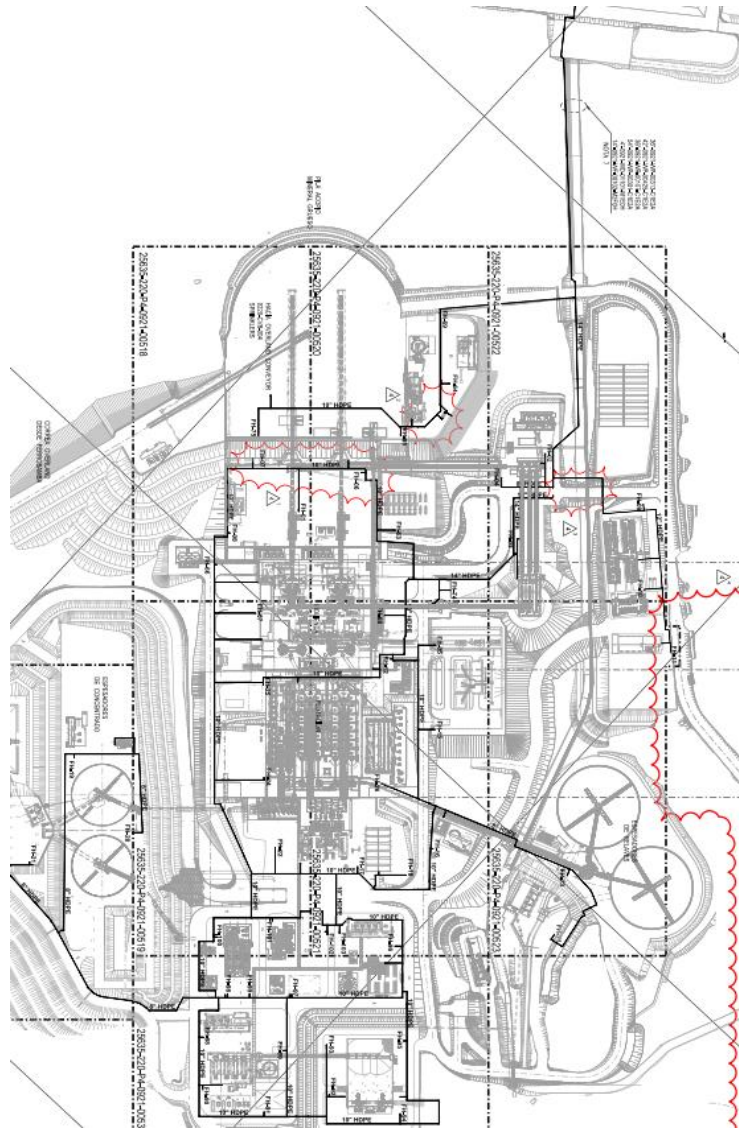


Figura 49. Plano de planta del sistema de agua contraincendios.
Fuente: Bechtel. (2012), Las Bambas: Apurímac.

⁷ Underground, palabra en inglés que traducido al castellano significa “enterrado” y la abreviatura que utiliza el proyecto en estudio es [U/G].

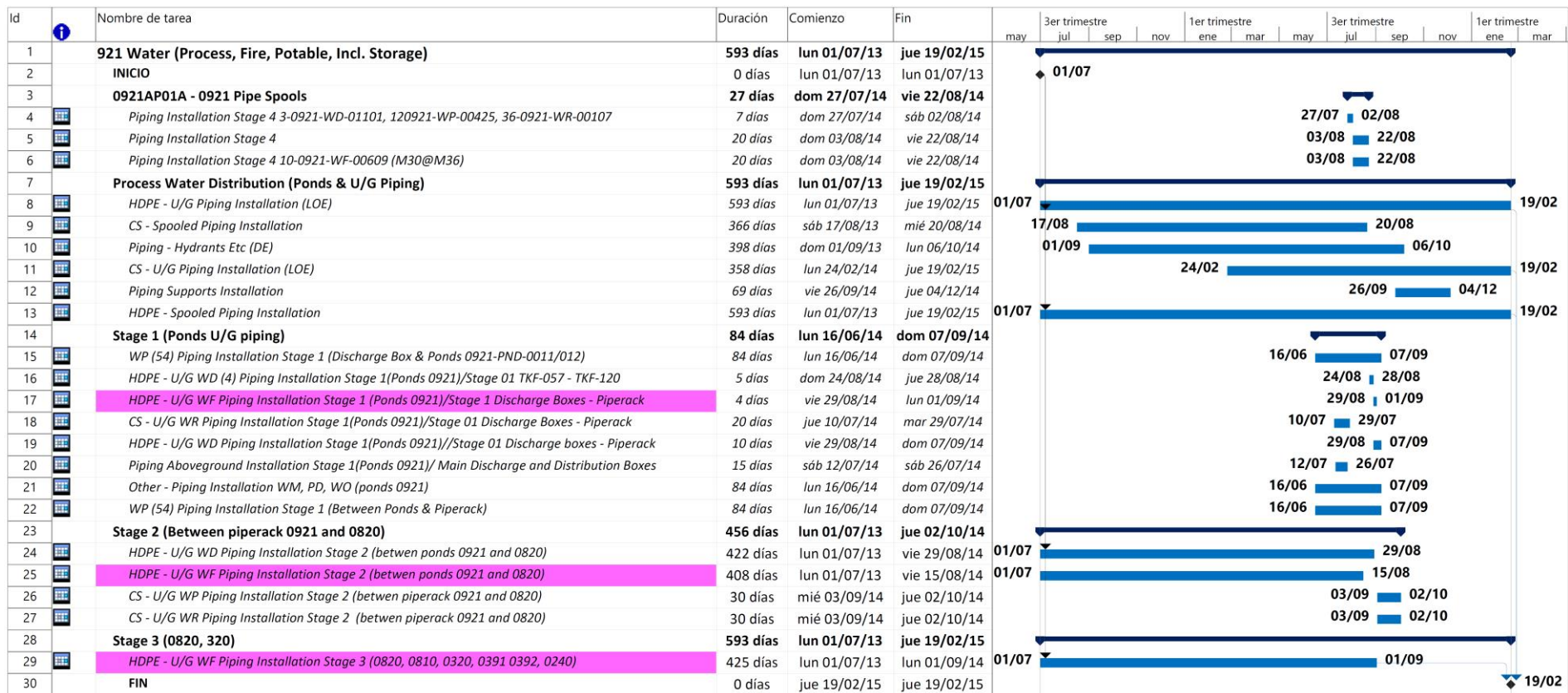


Figura 50. Master Schedule de agua de procesos, contraincendios, potable y almacenamiento.

Fuente: Bechtel (2012),

En base a este *Master Schedule* se tendrá que hacer las demás etapas de planificación, es decir, el *Pull Planning (Phase Scheduling)*, *Lookahead Planning* y el *Weekly Work Planning*.

3.2.5.2 Pull Planning

Este planeamiento integra a todas las disciplinas del proyecto, en este caso a las 08 disciplinas y las áreas de soporte como procura (logística), control de proyectos, control documentario, ingeniería de diseño y de calidad, recursos humanos, encargado de los equipos pesados y livianos, etc.

Este Planeamiento se debe realizar antes de empezar la ejecución del proyecto y programar las siguientes reuniones de acuerdo a la complejidad del proyecto, se recomienda 3 a 5 semanas de la ventana de tiempo del *Lookahead*.

En el capítulo 2 se indicó el detalle de esta planificación. *Pull Planning* junto con la herramienta IPD permiten la integración de todos los involucrados que si se hubiera aplicado antes de empezar con la ejecución de la obra del proyecto minero Las Bambas y se hubiera llevado esta reunión cada cierto tiempo se hubiera evitado muchos errores en su etapa de ejecución como re-trabajos por falta de coordinación a alto nivel, etc.

El detalle que deberá contener el posit-its es: el nombre de la tarea, actividades previas y el tiempo (duración) que le demanda hacer esa tarea. Ejemplo:



Figura 51. Detalle de posit-its en Pull Planning.

Fuente: International Facility Management Association. (2015).

[Diapositivas de PowerPoint]

La duración se deberá colocar sin contingencias (aumento en las estimaciones de duración)

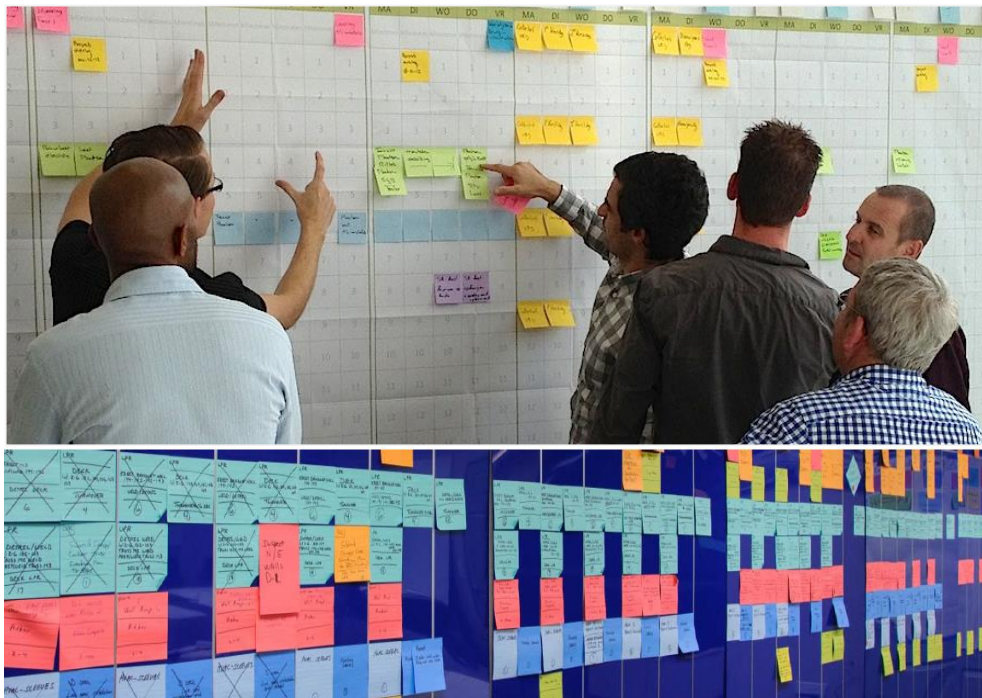


Figura 52. Reunión de Pull Planing.

Fuente: International Facility Management Association. (2015). [Diapositivas de PowerPoint]

3.2.5.2.1 Experiencia en el proyecto Las Bambas.

En el Proyecto Las Bambas se aplicó similar al planeamiento *Pull Planning*, pero se realizó cuando el proyecto estaba en la etapa de término, para hacer entrega a pre-operaciones⁸. Se hacían reuniones todos los días a excepción de los días domingos, esto debido a la presión por parte del cliente de entregar los sistemas solicitados para producir el primer cobre. Las reuniones eran a las 5:00 de la mañana, y estaba liderado por el gerente de construcción, los participantes eran representantes de cada disciplina (generalmente superintendentes y gerentes), las áreas de soporte y el cliente. Los representantes de cada disciplina debían llevar las necesidades, interferencias o impedimentos que tenían o tendrán para ejecutar una determinada tarea y no llegar a cumplir con la entrega en la fecha comprometida entonces el gerente de construcción juntamente con todos los

⁸ Grupo encargado de hacer las verificaciones con energización localizadas, probando los equipos tanto en vacío o con carga simulada.

involucrados analizaban cuales eran las prioridades y de acuerdo a esto se destinaban los recursos y apoyo en todo sentido. Es así que se mejoró las fechas de entrega de los sistemas al cliente, pero se hubiera evitado muchos problemas de interferencia, materiales y equipos si se hubiera realizado esta planificación antes y durante la ejecución y con mucha más razón al ser este un proyecto de construcción de tipo fast-track. Uno de los problemas más comunes era la interferencia con otras disciplinas. Se instalaba o construía para que después de pasado el tiempo se comunicaran que hubo modificaciones por temas de interferencia u otras razones y lo que se había construido ya no valía, esto era pues una pérdida grande en mano de obra, recursos, tiempo y dinero porque ya no se podía recuperar.

El proyecto llevaba el control de avance de manera aislada para cada disciplina y lo que se pudo observar entre ellas era una especie de egocentrismo porque cada uno de ellos quería quedar bien como disciplina y como resultado de esto no se avanzaba como se había planificado, es por esta y otras razones que no se llegó a entregar a tiempo al cliente los sistemas solicitados para la producción del primer cobre cayendo la empresa constructora en penalidades.

3.2.6 Last Planner System - Etapa de ejecución

Empezaremos con hacer la sectorización y formación de trenes de trabajo. Esto para lograr volúmenes de producción similares para cada día, en cada cuadrilla y con ello eliminar holguras que son pérdidas

3.2.6.1 Sectorización

Como primer paso listamos la secuencia de nuestra actividad incidentes de acuerdo a nuestro proceso constructivo. Ejemplo para una instalación de tuberías tenemos:

- (1) Termofusionado de la tubería HDPE
- (2) Excavación del terreno
- (3) Prueba Hidrostática

- (4) Tendido de la tubería en zanja
- (5) Relleno

Como segundo paso dividimos el proyecto en sectores o etapas similares. Se dividió de acuerdo a la dificultad de trabajo, es decir, los ratios de producción para la excavación son diferentes por sectores debido a que el suelo presentaba diferente material y la excavación nos marcaba el ritmo de producción por ser el “cuello de botella” y como segundo plano para la sectorización se tuvo en cuenta el metrado.

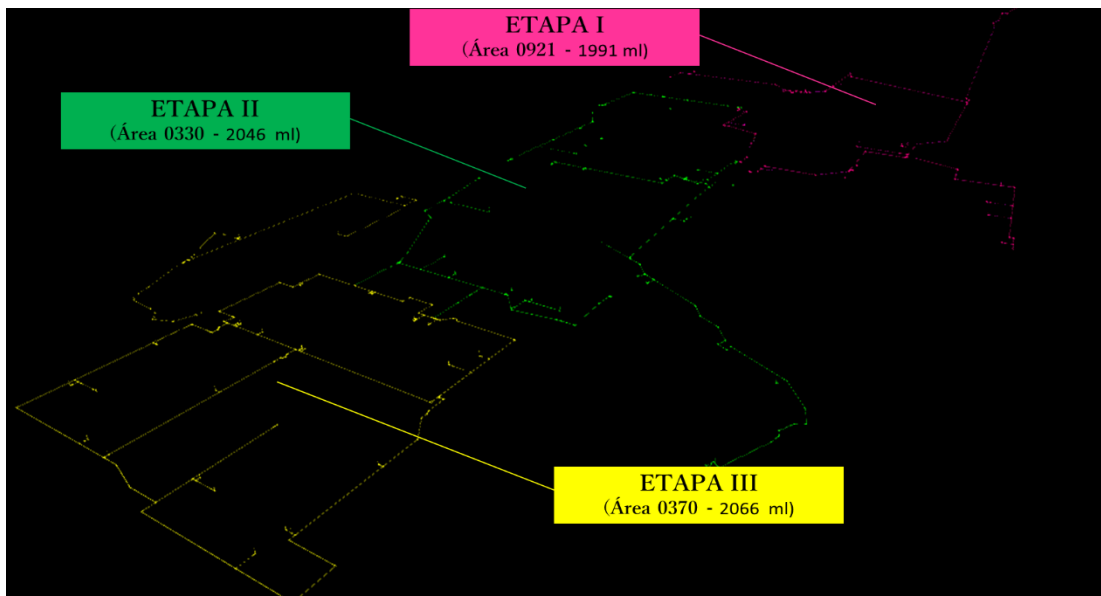


Figura 53. Etapas para ejecutar la instalación del sistema de agua contraincendios.
Fuente: Bechtel. (2012) [Naviwork], Las Bambas: Apurímac.

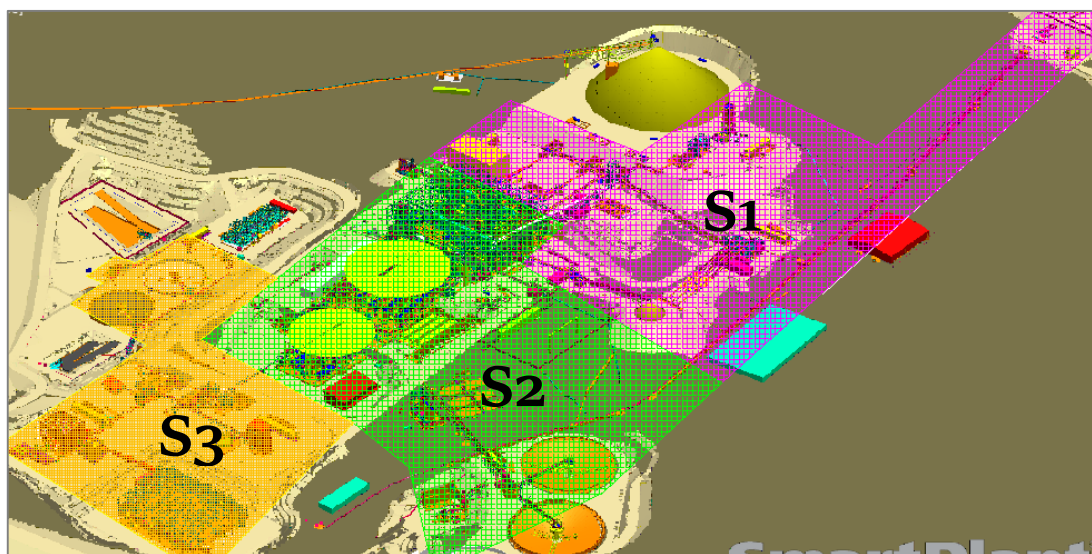


Figura 54. Sectorización del sistema de agua contraincendios según las etapas.
Fuente: Bechtel. (2012) [SmartPlant], Las Bambas: Apurímac.

Después se procederá hacer el balance de la cantidad de personal de cada sector en horas hombre (hh), para esto nos ayudamos de una plantilla hecha en Microsoft Excel. El procedimiento es como se indicó en el capítulo 2.

A continuación se muestra en la figura 55 los datos y resultados obtenidos según la sectorización realizada (Anexo 4).

| LOOKAHEAD | | | | | | | | | | PERSONAL REAL | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|------|---------|---------------|---------------|----------------|------------|-----------------------|------|---------------|------|------|------|------|
| Descripción de la Actividad | Normas de la Cuadrilla | Und | Jornada | Metrado Total | HH Requeridas | HH Programadas | Ratio Meta | Ratio de Programación | | I | M | J | A | V |
| MANO DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | E | ml | 4.00 | 1,391.00 | 289.70 | 289.00 | 0.9650 | 0.9452 | | 1.81 | 1.81 | 1.81 | 1.81 | 1.81 |
| Termofusionado | T | unil | 10.00 | 400.00 | 1,200.00 | 1,200.00 | 3.0000 | 0.0000 | | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| Prueba Hidrostatica | P | ml | 10.00 | 1,391.00 | 736.40 | 736.00 | 0.4000 | 0.3398 | | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Tendido de Tuberia | I | ml | 10.00 | 1,391.00 | 736.40 | 736.00 | 0.4000 | 0.3398 | | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| Relevo | R | ml | 4.00 | 1,391.00 | 294.80 | 295.00 | 0.1330 | 0.1331 | | | | | | |
| ETAPA II - FACILITY 0330 | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | E | ml | 6.00 | 2,046.00 | 613.80 | 567.00 | 0.3000 | 0.2771 | | | | | | |
| Termofusionado | T | unil | 10.00 | 428.00 | 1,260.00 | 1,120.00 | 3.0000 | 2.8457 | | | | | | |
| Prueba Hidrostatica | P | ml | 10.00 | 2,046.00 | 818.40 | 738.00 | 0.4000 | 0.3597 | | | | | | |
| Tendido de Tuberia | I | ml | 10.00 | 2,046.00 | 818.40 | 736.00 | 0.4000 | 0.3590 | | | | | | |
| Relevo | R | ml | 4.00 | 2,046.00 | 272.12 | 238.00 | 0.1330 | 0.1163 | | | | | | |
| ETAPA III - FACILITY 0370 | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | E | ml | 6.00 | 2,066.00 | 1,342.90 | 1,345.00 | 0.6500 | 0.6500 | | | | | | |
| Termofusionado | T | unil | 10.00 | 476.00 | 1,428.00 | 1,266.00 | 3.0000 | 2.6936 | | | | | | |
| Prueba Hidrostatica | P | ml | 10.00 | 2,066.00 | 826.40 | 836.00 | 0.4000 | 0.3988 | | | | | | |
| Tendido de Tuberia | I | ml | 10.00 | 2,066.00 | 826.40 | 820.00 | 0.4000 | 0.3969 | | | | | | |
| Relevo | R | ml | 4.00 | 2,066.00 | 474.78 | 473.00 | 0.1330 | 0.1321 | | | | | | |
| METRADOS | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | E | - | - | - | 1,391.000 | - | - | - | - | 1.81 | 1.81 | 1.81 | 1.81 | 1.81 |
| Termofusionado | T | - | - | - | 400.000 | - | - | - | - | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| Prueba Hidrostatica | P | - | - | - | 1,391.000 | - | - | - | - | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Tendido de Tuberia | I | - | - | - | 1,391.000 | - | - | - | - | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| Relevo | R | - | - | - | 1,391.000 | - | - | - | - | | | | | |
| PERSONAL EFECTIVO (ETAPA I) | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| T | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| P | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| I | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| R | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| PERSONAL EFECTIVO (ETAPA II) | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| T | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| I | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| R | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| PERSONAL EFECTIVO (ETAPA III) | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| T | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| I | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| R | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4.21 | 6.21 | 6.21 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 |
| PERSONAL REAL | | | | | | | | | | | | | | |
| (ETAPA I) | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| P | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| I | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| R | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| PERSONAL REAL (ETAPA II) | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PERSONAL REAL (ETAPA III) | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4.00 | 6.00 | 6.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 |
| HH PROG. REALES | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40.0 | 60.0 | 60.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 |
| TOTAL DE HH PROG. REALES | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 370.0 | | | | 420.0 | | | | | | |

Figura 55. Detalles del balance de cargas de trabajo.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

| Balanceo de horas hombres | | | | | | | | SEMANA 1 | | | | | SEMANA 2 | | | | | SEMANA 3 | | | | | SEMANA 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|---------|---------------|---------------|----------------|------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|--|
| Descripción de la Actividad | Und | Jornada | Metrado Total | HH Requeridas | HH Programadas | Ratio Meta | Ratio de Programación | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | | | | | | | |
| | | | | | | | | 01-Jul-13 | 02-Jul-13 | 03-Jul-13 | 04-Jul-13 | 05-Jul-13 | 06-Jul-13 | 07-Jul-13 | 08-Jul-13 | 09-Jul-13 | 10-Jul-13 | 11-Jul-13 | 12-Jul-13 | 13-Jul-13 | 14-Jul-13 | 15-Jul-13 | 16-Jul-13 | 17-Jul-13 | 18-Jul-13 | 19-Jul-13 | 20-Jul-13 | 21-Jul-13 | 22-Jul-13 | 23-Jul-13 | 24-Jul-13 | 25-Jul-13 | 26-Jul-13 | 27-Jul-13 | | | | |
| MANO DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 288.70 | 289.00 | 0.14500 | 0.1452 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | |
| Termofusionado | und | 8.00 | 320.00 | 960.00 | 960.00 | 3.0000 | 3.0000 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1,991.00 | 796.40 | 796.00 | 0.4000 | 0.3998 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | |
| Tendido de Tubería | ml | 2.00 | 1,991.00 | 796.40 | 156.00 | 0.4000 | 0.0784 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | |
| Relleno | ml | 4.00 | 1,991.00 | 264.80 | 265.00 | 0.1330 | 0.1331 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | | |
| ETAPA II - FACILITY 0330 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | ml | 6.00 | 2,046.00 | 613.80 | 432.00 | 0.30000 | 0.2111 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | und | 8.00 | 357.00 | 1,071.00 | 756.00 | 3.0000 | 2.1176 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 2,046.00 | 818.40 | 560.00 | 0.4000 | 0.2737 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | ml | 2.00 | 2,046.00 | 818.40 | 109.00 | 0.4000 | 0.0533 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | ml | 4.00 | 2,046.00 | 272.12 | 181.00 | 0.1330 | 0.0885 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA III - FACILITY 0370 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | ml | 10.00 | 2,066.00 | 1,756.10 | 918.00 | 0.85000 | 0.4443 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | und | 8.00 | 348.00 | 1,044.00 | 540.00 | 3.0000 | 1.5517 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 2,066.00 | 826.40 | 418.00 | 0.4000 | 0.2023 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | ml | 2.00 | 2,066.00 | 826.40 | 81.00 | 0.4000 | 0.0392 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | ml | 4.00 | 2,066.00 | 274.78 | 134.00 | 0.1330 | 0.0649 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| METRADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | - | - | 1,991.000 | - | - | - | - | 50 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | | |
| Termofusionado | - | - | 320.000 | - | - | - | - | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | |
| Prueba Hidrostática | - | - | 1,991.000 | - | - | - | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | |
| Tendido de Tubería | - | - | 1,991.000 | - | - | - | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | |
| Relleno | - | - | 1,991.000 | - | - | - | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | |
| ETAPA II - FACILITY 0330 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | - | - | 2,046.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | - | - | 357.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | - | - | 2,046.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | - | - | 2,046.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | - | - | 2,046.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA III - FACILITY 0370 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | - | - | 2,066.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | - | - | 348.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | - | - | 2,066.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | - | - | 2,066.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | - | - | 2,066.000 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Cantidad de Personas

Cantidad de metrado por día que se desea avanzar

Figura 56. Balanceo de número de personas teniendo en cuenta el metrado.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

| HHs Requeridas | HHs Programadas |
|----------------|-----------------|
| 11,400.69 | 10,530.00 |
| Eficiencia | 108% |

Figura 58. Eficiencia obtenida.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

Según la figura 58, la eficiencia de 108% indica que estamos optimizando los recursos, en otras palabras, estamos utilizando menos recursos de los planeados inicialmente según indican los ratios utilizados de otro proyecto.

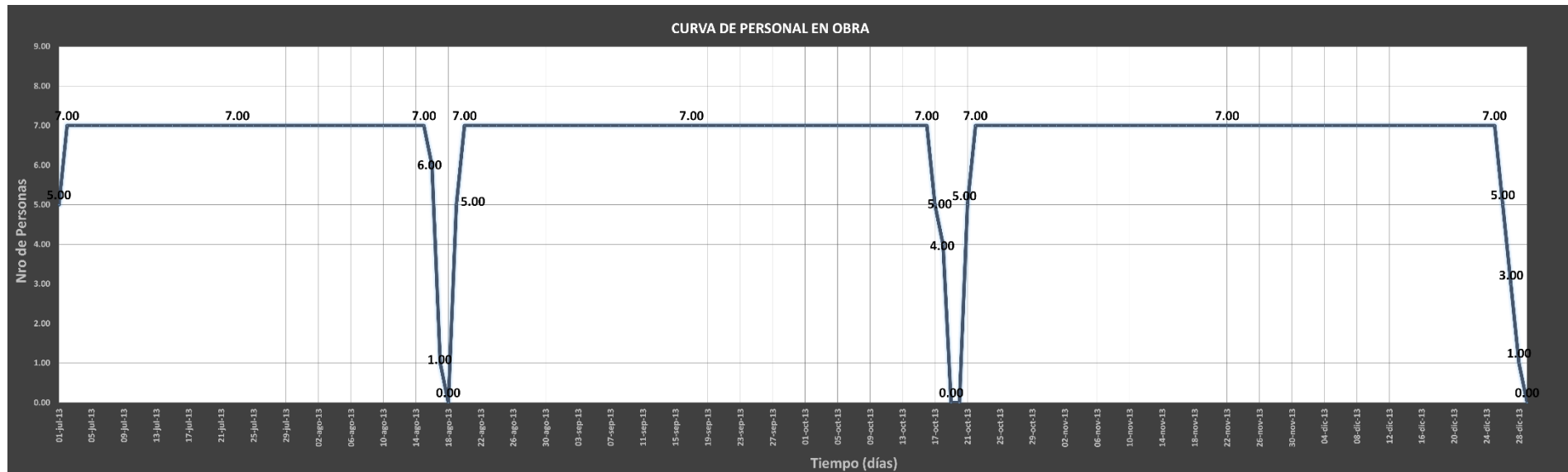


Figura 59. Curva de personal en obra obtenida.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

La figura 59 es el resultado de lo obtenido en el balance del personal de la figura 57. Esta gráfica no tiene la forma de una campana de **gauss** como comúnmente se obtienen en otros proyectos, aquí se propone hacer con la misma cuadrilla desde que inicia hasta que culmine lo que sí será diferente es el metrado que se avanzará por día en cada sector. También tener presente que esta cuadrilla podría cambiar a medida que se va estudiando en el proceso en el proceso de ejecución pero el impacto no será mayor en la cuadrilla.

3.2.6.2 Tren de trabajo

| Descripción de la Actividad | SEMANA 1 | | | | | | SEMANA 2 | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 01-jul-13 | 02-jul-13 | 03-jul-13 | 04-jul-13 | 05-jul-13 | 06-jul-13 | 07-jul-13 | 08-jul-13 | 09-jul-13 | 10-jul-13 | 11-jul-13 | 12-jul-13 |
| Trazo Topografico | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 |
| Excavación | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 |
| Control de Excavación | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 |
| Termofusionado | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 |
| Prueba Hidrostática | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 |
| Tendido de la Tub. | | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 |
| Levantamiento As-Built | | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 |
| Relleno | | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 |

Figura 60. Tren de trabajo.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

Cada color representa un tramo terminado de tubería y cada día se tiene que cumplir con el mismo objetivo, por ejemplo para el primer sector cada día se tendrá que instalar 50 metros lineales de tubería. En caso de tener una geometría de tubería complicada donde implique hacer varias “pegas” se tendrá que trabajar por objetivos de tal manera que se cumpla esa cantidad del día anterior. Este trabajo por objetivo puede ser por medio de un incentivo (aumento de su jornal, salida antes de terminar la jornada), trabajar con horas extras o entrega de un reconocimiento simbólico, etc.

En el proyecto minero Las Bambas se trabajaba de lunes a domingo y la jornada de trabajo era 10 horas.

Al hacer el tren de trabajo hasta cumplir con todo el alcance se obtiene la fecha de culminación y por ende el número de días llegando a obtener 182 días para culminar con la instalación de tuberías para el sistema de agua contraincendios.

(Anexo 5)

En la figura 61 se muestra el detalle para ejecutar la instalación de tuberías de agua contraincendios en una jornada por una cuadrilla en horas.

| Jornada (10 horas) | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | Total (horas) |
|--------------------------|-------------|---------------------|----|----|----|---------|----------|---------|----|---------|---------------|
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| Trazo Topografico | Trazo | | | | | | | | | | 00:30 |
| Excavación | | Excav. | | | | | Excav. | | | | 05:00 |
| Control de Excavación | | | | | | control | | | | | 00:30 |
| Termofusionado | | Termofusionado | | | | | | | | | 07:00 |
| Inspeccion de las juntas | | | | | | | | | | Inspec. | 01:00 |
| Prueba Hidrostática | | Prueba Hidrostática | | | | | | | | | 10:00 |
| Tendido de la Tub. | Instalación | | | | | | | | | | 02:00 |
| Levantamiento As-Built | | | | | | | As-built | | | | 00:30 |
| Relleno | | | | | | | | Relleno | | | 03:00 |

Figura 61. Detalle de la distribución de asignaciones en una jornada de trabajo.
Fuente: Elaboración propia [Excel]

A continuación se muestran fotos de las actividades pertenecientes al tren de trabajo.



Figura 62. Trazo topográfico de la tubería.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)



Figura 63. Excavación y control de excavación para instalar la tubería.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)



Figura 64. Termofusionado de la tubería.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)



Figura 65. Prueba hidrostática de la tubería termofusionada.
Fuente: Elaboración propia. [Fotografía],
Las Bambas: Apurímac. (2015)

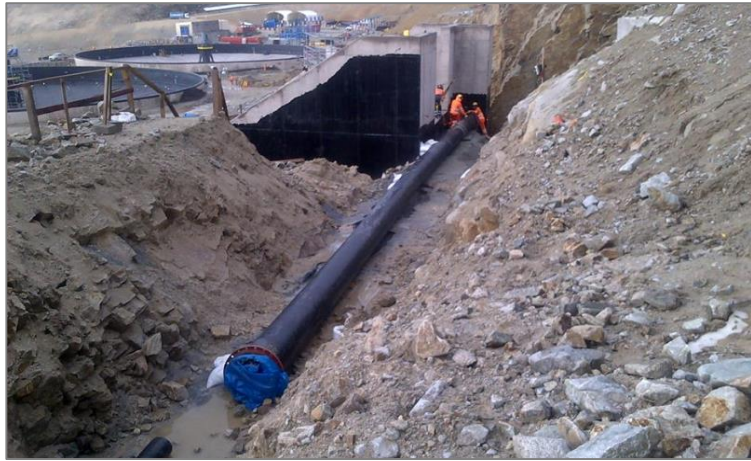


Figura 66. Instalación de la tubería.

Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)



Figura 67. Relleno de la excavación.

Fuente: Elaboración propia. [Fotografía], Las Bambas: Apurímac. (2015)

3.2.6.3 Lookahead Planning: Planificación intermedia

Se escogió una ventana de tiempo de 3 semanas para la programación del *Lookahead* y su respectivo análisis de restricciones.

1

Si la reunión sería el día de hoy (Domingo 23 de jun.) tendríamos que analizar recursos a utilizar y las restricciones en esta ventana de 3 semanas, donde la primera semana se estaría ejecutando la próxima semana (01 de jul.) la cual debería estar libre se restricciones hasta el día de hoy.

| LOOKAHEAD | | | | SEMANA 1 | | | | | | | SEMANA 2 | | | | | | | SEMANA 3 | | | | | | | SEMANA 4 | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|---------|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Descripción de la Actividad | Und | Jornada | Metrado Total | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V |
| MANO DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | ml | 6.00 | 1.991.00 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 |
| Termofusionado | und | 10.00 | 400.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1.991.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Tendido de Tubería | ml | 10.00 | 1.991.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Relleno | ml | 4.00 | 1.991.00 | | | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 |
| ETAPA II - FACILITY 0330 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | ml | 6.00 | 2.046.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | und | 10.00 | 420.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 2.046.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | ml | 10.00 | 2.046.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | ml | 4.00 | 2.046.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2

La próxima reunión sería el día 30 de jun. Para analizar las otras tres semanas siguientes (semana 2 hasta semana 4).

Figura 68. Ventana de tiempo del Lookahead.
Fuente: Elaboración propia [Excel]

3.2.6.4 Análisis de restricciones

A continuación se propone un modelo de plantilla a seguir para hacer el control del análisis de restricciones.

| ANÁLISIS DE RESTRICCIONES | | | | | | SEMANA 2 | | | | | | | SEMANA 3 | | | | | | | SEMANA 4 | | | | | | | SEMANA 5 | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|---|------------------------|--|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| Ítem | Descripción de la Actividad | Descripción de la Restricción | Fecha de Levantamiento | Responsable de levantar la Restricción | Estado | 01-jun-13 | 02-jun-13 | 03-jun-13 | 04-jun-13 | 05-jun-13 | 06-jun-13 | 07-jun-13 | 08-jun-13 | 09-jun-13 | 10-jun-13 | 11-jun-13 | 12-jun-13 | 13-jun-13 | 14-jun-13 | 15-jun-13 | 16-jun-13 | 17-jun-13 | 18-jun-13 | 19-jun-13 | 20-jun-13 | 21-jun-13 | 22-jun-13 | 23-jun-13 | 24-jun-13 | | |
| 01 | Excavación | Permiso de excavación | 08/07/2013 | Edwin Puma | EN PROCESO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Generar SWR para trazo topográfico | 19/07/2013 | Edwin Puma | POR INICIAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 | Termofusionado | 05 accesorios de 45 grados de 10 pulgadas | 10/07/2013 | Carlos Reyes | EN PROCESO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 | Prueba Hidrostática | Calibrar manómetro de 130 PSI | 13/07/2013 | Luis Calizaya | LEVANTADA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 barras roscadas de 3/8 pulg. Para espárragos | 18/07/2013 | Carlos Reyes | POR INICIAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | Relleno | Habilitar concreto como material de Relleno | 15/07/2013 | José Valenz. | POR INICIAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 69. Análisis de restricciones.
Fuente: Elaboración propia [Excel]

Las actividades libres de restricciones pasan a ser parte del Inventario de Trabajo Ejecutable.

3.2.6.5 Weekly Work Planning: Planificación semanal

El nivel de detalle de la programación es mayor a comparación del *Lookahead*. Ejemplo: aquí se debe hacer mención de todas las actividades por más pequeña duración que tengan estas para llevar un control y seguimiento de la misma.

| Programación Semanal | | | | | SEMANA 1 | | | | | |
|--------------------------------|-----|---------|---------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Descripción de la Actividad | Und | Jornada | Metrado Total | Metrado Programado | L | M | M | J | V | S |
| | | | | | 01-Jul-13 | 02-Jul-13 | 03-Jul-13 | 04-Jul-13 | 05-Jul-13 | 06-Jul-13 |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | |
| Trazo Topográfico | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Control de Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Termofusionado | und | 10.00 | 400.00 | 58.00 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1,991.00 | 250.00 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Tendido de Tubería | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Levantamiento As-built | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Relleno | ml | 4.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |

Figura 70. Programación semanal.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

La programación diaria tiene mucho más detalle de las actividades, inclusive aquí se debe colocar el nombre de la cuadrilla encargada de una determinada actividad.

| Programación Diaria | | | | | SEMANA 1 | | | | | |
|--|-----|---------|---------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Descripción de la Actividad | Und | Jornada | Metrado Total | Metrado Programado | L | M | M | J | V | S |
| | | | | | 01-Jul-13 | 02-Jul-13 | 03-Jul-13 | 04-Jul-13 | 05-Jul-13 | 06-Jul-13 |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | |
| Generar SWR para trazo topográfico | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Trazo Topográfico | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Generar SWR para control de excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Control de Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Termofusionado | und | 10.00 | 400.00 | 58.00 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Inspección de las juntas termofusionadas | und | 10.00 | 400.00 | 58.00 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1,991.00 | 250.00 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Inspección de la prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1,991.00 | 250.00 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Tendido de Tubería | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Generar SWR para Levantamiento As-Built | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Levantamiento As-built | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Relleno | ml | 4.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 |

Figura 71. Programación semanal.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

Se puede observar en la figura 71 se observan las actividades de flujo (control de excavación, inspecciones, generación del SWR, etc.) y conversión propiamente (Trazo, excavación, Termofusionado, etc.).

En caso ocurra un imprevisto que impida la ejecución de lo programado se ha previsto del buffer de tiempo el día domingo (el cual no está incluido en la programación) para completar lo que aún queda pendiente de nuestro programa.

3.2.6.5.1 Análisis de porcentaje de plan cumplido (PPC)

| | | | | | SEMANA 1 | | | | | | ANALISIS DE INCUMPLIMIENTO | | | | |
|--|-----|---------|---------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|-----|----------|---|---|
| Descripción de la Actividad | Und | Jornada | Metrado Total | Metrado Programado | L | M | M | J | V | S | SI | NO | TIPO | CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO | MEDIDA CORRECTIVA |
| | | | | | 01-jul-13 | 02-jul-13 | 03-jul-13 | 04-jul-13 | 05-jul-13 | 06-jul-13 | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Generar SWR para trazo topográfico | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | x | | | | |
| Trazo Topográfico | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | x | | | | |
| Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | x | | | | |
| Generar SWR para control de excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | x | | | | |
| Control de Excavación | ml | 6.00 | 1,991.00 | 300.00 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | x | | | | |
| Termofusionado | und | 10.00 | 400.00 | 58.00 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | x | | | | |
| Inspección de las juntas termofusionadas | und | 10.00 | 400.00 | 58.00 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | x | | | | |
| Prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1,991.00 | 250.00 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | | x | EQUIPO | Equipo se encuentra en mantenimiento | Hacer seguimiento para su rápida atención |
| Inspección de la prueba Hidrostática | ml | 10.00 | 1,991.00 | 250.00 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | | x | MATERIAL | Debido a no tener lista la tubería no se trabajar | Presionar para la pronta solución de la maquina |
| Tendido de Tubería | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 | | x | MATERIAL | Debido a no tener lista la tubería no se trabajar | |
| Generar SWR para Levantamiento As-Built | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 | | x | MATERIAL | Debido a no tener lista la tubería no se trabajar | |
| Levantamiento As-built | ml | 10.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 | | x | MATERIAL | Debido a no tener lista la tubería no se trabajar | |
| Relleno | ml | 4.00 | 1,991.00 | 200.00 | | | 50 | 50 | 50 | 50 | | x | MATERIAL | Debido a no tener lista la tubería no se trabajar | |
| ANALISIS DE CONFIABILIDAD EN (%) | | | | | | | | | | | 7 | 6 | | | |
| | | | | | | | | | | | 54% | 46% | | | |

Figura 72. Análisis del porcentaje de plan cumplido (PPC).

Fuente: Elaboración propia [Excel]

$$PPC(\%) = \frac{N^{\circ} \text{Compromisos Completados}}{N^{\circ} \text{de compromisos}} \times 100$$

A continuación se hará la gráfica del PPC de 13 semanas.

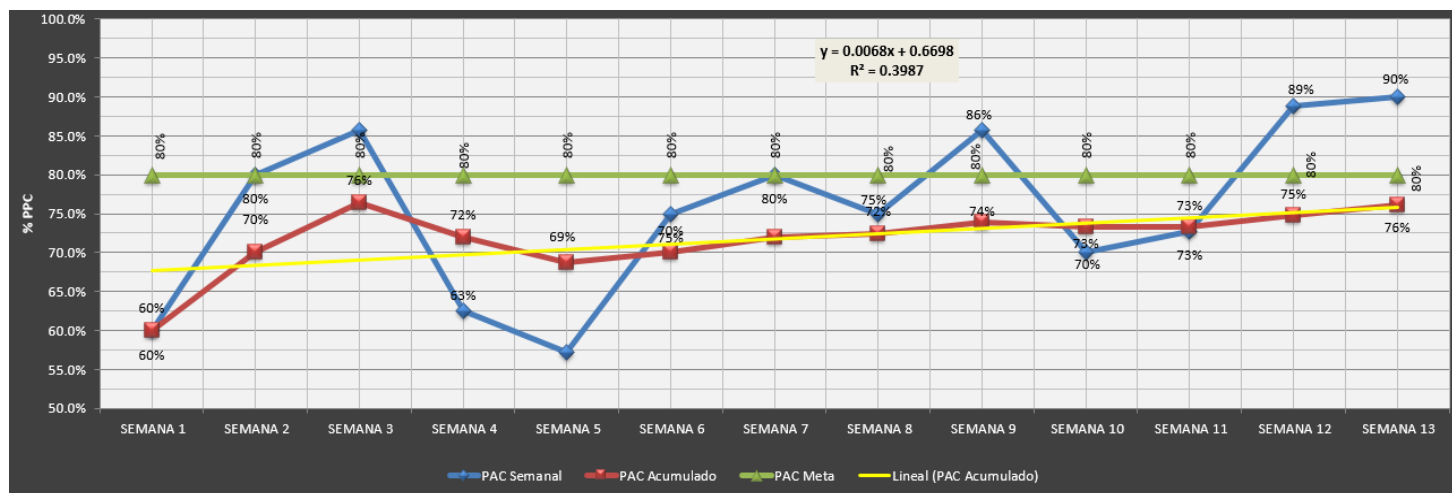


Figura 73. Evolución del programa de plan cumplido (PPC).

Fuente: Elaboración propia [Excel]

Tabla 4. Detalle de datos de las primeras 13 semanas

| Semana Nº | Fecha Inicio | Fecha Término | Nº Activ. Planificadas | Nº Acumulado Activ. Planif. | Nº Activ. Ejecutadas | Nº Acumulado Activ. Ejecut. | PAC Semanal | PAC Acumulado | PAC Meta |
|-----------|--------------|---------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|---------------|----------|
| SEMANA 1 | 01-jul-13 | 07-jul-13 | 5 | 5 | 3 | 3 | 60.0% | 60.0% | 80.0% |
| SEMANA 2 | 08-jul-13 | 14-jul-13 | 5 | 10 | 4 | 7 | 80.0% | 70.0% | 80.0% |
| SEMANA 3 | 15-jul-13 | 21-jul-13 | 7 | 17 | 6 | 13 | 85.7% | 76.5% | 80.0% |
| SEMANA 4 | 22-jul-13 | 28-jul-13 | 8 | 25 | 5 | 18 | 62.5% | 72.0% | 80.0% |
| SEMANA 5 | 29-jul-13 | 04-ago-13 | 7 | 32 | 4 | 22 | 57.1% | 68.8% | 80.0% |
| SEMANA 6 | 05-ago-13 | 11-ago-13 | 8 | 40 | 6 | 28 | 75.0% | 70.0% | 80.0% |
| SEMANA 7 | 12-ago-13 | 18-ago-13 | 10 | 50 | 8 | 36 | 80.0% | 72.0% | 80.0% |
| SEMANA 8 | 19-ago-13 | 25-ago-13 | 8 | 58 | 6 | 42 | 75.0% | 72.4% | 80.0% |
| SEMANA 9 | 26-ago-13 | 01-sep-13 | 7 | 65 | 6 | 48 | 85.7% | 73.8% | 80.0% |
| SEMANA 10 | 02-sep-13 | 08-sep-13 | 10 | 75 | 7 | 55 | 70.0% | 73.3% | 80.0% |
| SEMANA 11 | 09-sep-13 | 15-sep-13 | 11 | 86 | 8 | 63 | 72.7% | 73.3% | 80.0% |
| SEMANA 12 | 16-sep-13 | 22-sep-13 | 9 | 95 | 8 | 71 | 88.9% | 74.7% | 80.0% |
| SEMANA 13 | 23-sep-13 | 30-sep-13 | 10 | 105 | 9 | 80 | 90.0% | 76.2% | 80.0% |

Nota: Elaboración propia [Excel]

Los valores de la tabla 4 se obtuvieron del mismo proyecto y se trataron de reflejar lo más real posible.

Según la gráfica se tiene picos (subidas y bajadas) de manera constante debido a que no se analizaba la causa raíz de estos problemas cuando el PPC tomaba un valor menor al 80% a través del análisis de causas de no cumplimiento (CNC).

En el presente trabajo de investigación se plantea hacer el análisis de los valores del PPC menores al 80% mediante el análisis de las CNC hasta llegar al detalle de las mismas y una vez identificada tomar acciones correctivas para ir mejorando la confiabilidad de la programación.

Según la figura 73 la ecuación de la línea de tendencia del PPC acumulado es:

$$y = 0.0068x + 0.6698 \dots \dots \dots [7]$$

$$R^2 = 0.3987 \dots \dots \dots [8]$$

La anterior ecuación se puede traducir de la siguiente manera:

La pendiente expresa el porcentaje en que la obra y su programación incrementan su valor del "PPC" en el periodo de una semana. El valor 0.0068 representa un incremento en el porcentaje de confiabilidad de la programación de la obra y una integración entre el equipo de trabajo perteneciente a la obra (Director de Obra, Residente, Programador *Last Planner* y Contratistas).

El intercepto establece el valor promedio del "PPC", con el cual el proyecto empezó. El 0.6698 es un valor medio bajo. Para obras en las cuales se cuenta con personal de trayectoria en sistemas de gestión e la productividad (*Lean Construction*), el intercepto se debe ubicar en valores cercanos y por encima de 0.8.

El valor R cuadrado, se interpreta como la proporción de la varianza del "PPC", que se atribuye a la varianza de la programación semanal, o como el porcentaje de error corregido al realizar la Programación Semanal, en relación al valor

que se obtendría de analizar el PPC por su promedio (Fernando Gonzales, 2016).

Como ya se mencionó líneas arriba los valores del PPC menores al 80% merecen un análisis de CNC hasta llegar al detalle de éste y una vez identificada poder tomar acciones correctivas y no volver a cometer el mismo error en la ejecución de las siguientes programaciones

3.2.6.5.2 Causas de No Cumplimiento (CNC)

Para llegar a la causa raíz de por qué no se cumple con lo programado se debe llevar el control de las causas, tomar acción sobre éstas y hacer una mejora continua para que no volvamos a incurrir en estos mismos problemas.

Tabla 5. Causas de no cumplimiento semanal.

| TIPO CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO | FRECUENCIA |
|--------------------------------|------------|
| Ingengería | 1 |
| Logística | 2 |
| RRHH | 1 |
| Interno | 4 |
| Externo | 4 |
| Equipos | 1 |
| Total | 7 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

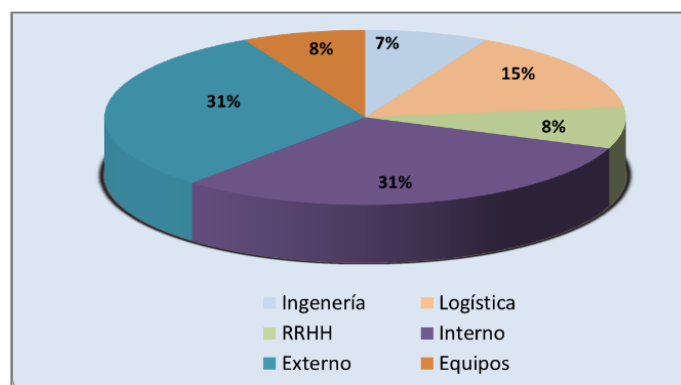


Figura 74. Tipo de causa de no cumplimiento semanal.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

En la tabla 5 y figura 74 se muestran los tipos de Causas por las cuales no se llegó a cumplir con lo programado, pero estas causas son muy generales para poder tomar acciones correctivas, es por eso que se debe detallar.

A continuación en la tabla 6 y la figura 75 se detalla las Causas de No Cumplimiento.

Tabla 6. Detalle de causas de no cumplimiento semanal.

| DETALLE CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO | AREA RESPONSABLE | FRECUENCIA |
|---|------------------|------------|
| Interferencias en campo | Ingeniería | 1 |
| Exceso de lluvias | Externo | 4 |
| Falta de materiales | Logística | 2 |
| Falta de personal | RRHH | 1 |
| Cambio de Programación | Interno | 4 |
| Falta de Retroexcavadora | Equipos | 1 |
| Accesos, obstrucciones y frentes de trabajo | Producción | 2 |
| Total | | 11 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

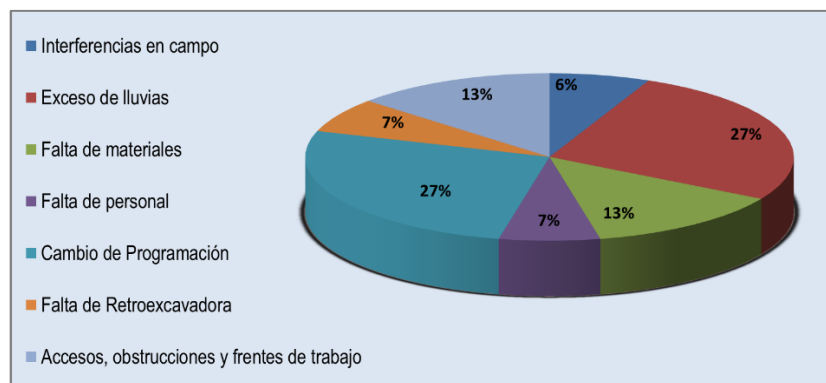


Figura 75. Detalle de causa de no cumplimiento semanal.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

A continuación se muestra el tipo y detalle de las causas de no cumplimiento acumulado.

Tabla 7. Causas de no cumplimiento acumulado.

| TIPO CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO | FRECUENCIA |
|--------------------------------|------------|
| Producción | 50 |
| Equipos | 24 |
| Externo | 15 |
| RRHH | 8 |
| Ingeniería | 14 |
| Logística | 8 |
| Total | 119 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

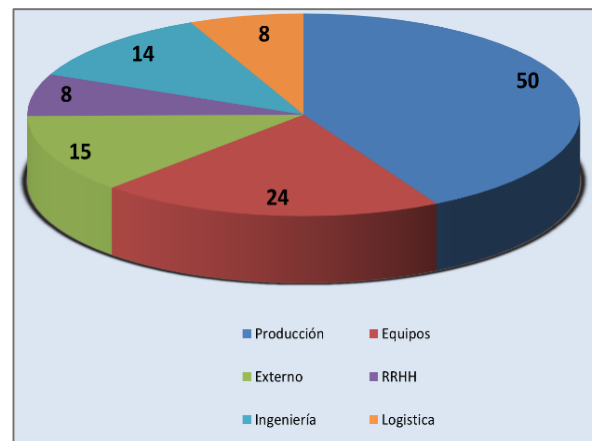


Figura 76. Tipo de causas de no cumplimiento acumulado.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

Tabla 8. Detalle de causas de no cumplimiento acumulado

| DETALLE CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO | AREA RESPONSABLE | FRECUENCIA |
|---|------------------|------------|
| Problemas de no calidad | Producción | 10 |
| Falla de la máquina de termofusión | Equipos | 8 |
| Falta de Retroexcavadora | Equipos | 7 |
| Mantenimiento no programado de equipos | Equipos | 9 |
| Exceso de lluvias | Externo | 15 |
| Falta de personal | RRHH | 8 |
| Incongruencia de planos con campo | Ingeniería | 14 |
| Interferencia en campo | Producción | 20 |
| Falta de materiales | Logística | 8 |
| Accesos, obstrucciones y frentes de trabajo | Producción | 8 |
| Cambio de programación | Producción | 12 |
| Total | | 119 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

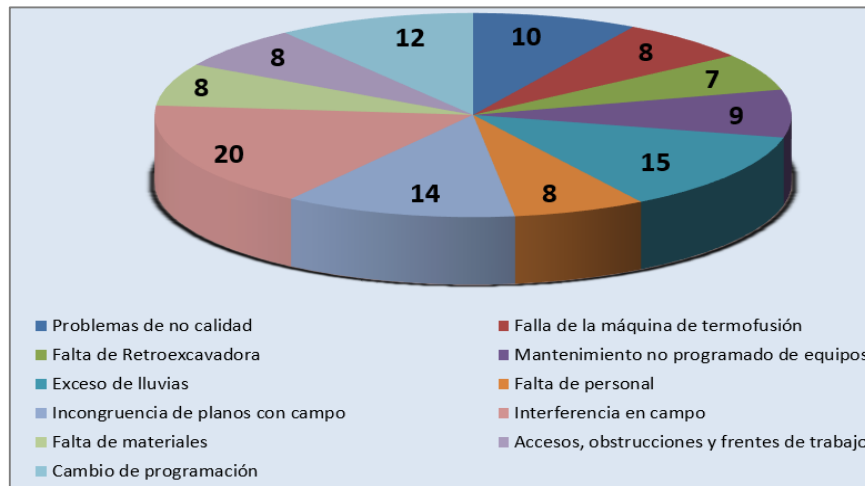


Figura 77. Detalle de causas de no cumplimiento acumulado.
Fuente: Elaboración propia [Excel]

Según los resultados obtenidos después de haber hecho un análisis de causas de no cumplimiento se concluye que semanalmente se tiene problemas externo e interno (ver figura 74 y tabla 5) específicamente esto se debe a reprogramación constante de nuestra programación esto es de tipo interno y exceso de lluvia que es de tipo externo (ver figura 75 y tabla 6). Con respecto a las causas de no cumplimiento acumulado se puede concluir que los tipos son de producción y equipos (ver figura 76 y tabla 7) específicamente se debe por exceso de lluvia e interferencia en campo (ver figura 77 y tabla 8).

3.3 ANALISIS DE COSTO

En este capítulo se presentara el cálculo del costo según contrato, el que costo realmente y el que propone *Lean Construction*.

Como se mencionó en el capítulo 3, la ejecución del servicio de agua contraincendios según el *Master Schedule* (ver figura 50) era de 465 días, el tiempo que demando realmente en ejecutar la construcción del sistema de agua contraincendios fue 690 días y el que se plantea con *Lean Construction* es de 182 días (ver figura 56 y Anexo A). Según este dato de tiempo que se emplea bajo estas tres modalidades, podemos obtener el costo que demanda en cada una de ellas para luego poder compararlos.

A continuación se muestra los resultados de los costos.

Tabla 9. Costo real total de ejecución desde julio de 2013 hasta agosto de 2015.

| | | Tiempo (días) | | |
|--|----------|---------------|-------------------------|---------------------------------|
| Tiempo de Ejecución Real | | 690 | | |
| Tiempo de Ejecución según el contrato | | 425 | | |
| Recursos | Cantidad | costo Diario | Costo Real al termino | Costo según contrato al termino |
| Mano de Obra | | | | |
| Capataz | 02 | S/. 183.33 | S/. 253,000.00 | S/. 155833 |
| Operario Termofusionista | 05 | S/. 157.14 | S/. 542,142.86 | S/. 333929 |
| Operario Tubero | 08 | S/. 142.86 | S/. 788,571.43 | S/. 485714 |
| Oficial Tubero | 11 | S/. 119.05 | S/. 903,571.43 | S/. 556548 |
| Operario de Retroexcavadora | 01 | S/. 218.34 | S/. 150655 | S/. 92795 |
| Operario de Picoton | 01 | S/. 218.34 | S/. 150655 | S/. 92795 |
| Oficial de Movimiento de Tierras | 02 | S/. 119.05 | S/. 164286 | S/. 101190 |
| Ayudante | 02 | S/. 111.90 | S/. 154,428.57 | S/. 95119 |
| Topografo | 04 | S/. 160.00 | S/. 441,600.00 | S/. 272000 |
| Ayudante de Topografo | 03 | S/. 119.05 | S/. 246,433.50 | S/. 151789 |
| Asistente | 02 | S/. 142.86 | S/. 197,146.80 | S/. 121431 |
| Sub Total | | | S/. 3,992,489.50 | S/. 2459142 |
| Equipo | | | | |
| Camión Hiab 20 Ton | 01 | S/. 133.60 | S/. 92,184.00 | S/. 56,780.00 |
| Retroexcavadora | 01 | S/. 128.61 | S/. 88,740.90 | S/. 54,659.25 |
| Excavadora con martillo hidráulico | 01 | S/. 130.00 | S/. 89,700.00 | S/. 55,250.00 |
| Maquina de Termofusión | 03 | S/. 21.52 | S/. 44,546.40 | S/. 27,438.00 |
| Hidrolavadora | 02 | S/. 10.84 | S/. 14,959.20 | S/. 9,214.00 |
| Sub Total | | | S/. 330,130.50 | S/. 203,341.25 |
| Costo Total al Terminar el Proyecto | | | S/. 4,322,620.00 | S/. 2,662,483.33 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PERSONAL REAL (ETAPA I) | E | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | T | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | P | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | I | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | R | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| PERSONAL REAL (ETAPA II) | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | T | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PERSONAL REAL (ETAPA III) | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | T | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | 5.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 |
| HH PROG. REALES | | 50.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 |
| TOTAL DE HH PROG. REALES | | 400.0 | | | | | | 420.0 | | | | | | 420 | | | | | |

Figura 78. Resultado de la cantidad de personas necesarias para la ejecución del primer sector obtenido de acuerdo al balanceo de carga de la sectorización.

Fuente: Elaboración propia [Excel]

Tabla 10. Costo total aplicando Lean Construction.

| | | Tiempo (días) | |
|---|----------|---------------|-------------------------------|
| Tiempo de Ejecución Propuesta con Lean | | 182 | |
| Tiempo de uso de la Excav. con martillo | | 60 | |
| Recursos | Cantidad | costo Diario | Costo según Lean Construction |
| Mano de Obra | | | |
| Capataz | 02 | S/. 183.33 | S/. 66733 |
| Operario Termofusionista | 02 | S/. 157.14 | S/. 57200 |
| Operario Tubero | 02 | S/. 142.86 | S/. 52000 |
| Oficial Tubero | 02 | S/. 119.05 | S/. 43333 |
| Operario de Retroexcavadora | 01 | S/. 218.34 | S/. 39738 |
| Operario de Picoton | 01 | S/. 218.34 | S/. 39738 |
| Oficial de Movimiento de Tierras | 02 | S/. 119.05 | S/. 43333 |
| Ayudante | 02 | S/. 111.90 | S/. 40733 |
| Topografo | 02 | S/. 160.00 | S/. 58240 |
| Ayudante de Topografo | 02 | S/. 119.05 | S/. 43334 |
| Asistente | 02 | S/. 142.86 | S/. 52001 |
| Sub Total | | | S/. 536384 |
| Equipo | | | |
| Camión Hiab 20 Ton | 01 | S/. 133.60 | S/. 24,315.20 |
| Retroexcavadora | 01 | S/. 128.61 | S/. 23,407.02 |
| Excavadora con martillo hidráulico | 01 | S/. 130.00 | S/. 7,800.00 |
| Maquina de Termofusión | 03 | S/. 21.52 | S/. 11,749.92 |
| Hidrolavadora | 02 | S/. 10.84 | S/. 3,945.76 |
| Sub Total | | | S/. 71,217.90 |
| Costo al terminar el proyecto | | | S/. 607,602.23 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

La cantidad de personas para algunos cargos ha tenido que duplicarse, de lo que normalmente se obtuvo en el balanceo de cargas (figura 78), esto debido a que los trabajadores tenían un régimen de 14x7 y para cubrir los días de ausencia añadimos su respectivo relevo.

El personal de este grupo no entro en el balanceo de cargas debido a que el asistente no realiza trabajo productivo, con respecto al topógrafo y su ayudante según el cálculo realizado mostrado en la figura 61 se obtiene una participación total de una hora y media del total de su jornada de 10 horas cubriendo las demás horas que le falta en otros frentes de trabajo.

Resumen de resultados:

Tabla 11. Resultado de las tres formas de ejecución para la instalación de las tuberías de agua contraincendios.

| Ejecución | Según contrato | Real | Aplicando Lean Construction |
|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| Inversión | S/. 2,662,483.33 | S/. 4,322,620.00 | S/. 607,602.23 |

Nota: Elaboración propia [Excel]

Tabla 12. Comparación de costos entre la ejecución Según el contrato y aplicando Lean Construction

| Ejecución | Según contrato | Aplicando Lean Construction |
|------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Inversión | S/. 2,662,483.33 | S/. 607,602.23 |
| Ahorro | S/. 2,054,881.10 | |

Nota: Elaboración propia [Excel]

Tabla 13. Comparación de costos entre la ejecución real y aplicando Lean Construction

| Ejecución | Real | Aplicando Lean Construction |
|------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Inversión | S/. 4,322,620.00 | S/. 607,602.23 |
| Ahorro | S/. 3,715,017.77 | |

Nota: Elaboración propia [Excel]

Capítulo 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

La investigación desarrollada en esta tesis ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Con la implementación de la filosofía Lean Construction, se demuestra mediante el desarrollo de esta tesis que se puede reducir y muchas veces eliminar las pérdidas en los flujos aplicando la herramienta *Last Planner System* y en el caso de los procesos aplicando la herramienta del tren de actividades.
2. Mediante la aplicación de la herramienta “porcentaje de plan cumplido (PPC)”, se demuestra cuán confiable es nuestra programación debido a que esta herramienta nos da una alerta de que algo anda mal en la programación si estamos por debajo del 80%, lo cual no se llega a detectar con el método tradicional. Así mismo para detectar la causa raíz de este problema nos valemos de la herramienta “causas de no cumplimiento (CNC)”, de esta manera se obtiene el control total de la ejecución de las actividades.
3. La solución a problemas de interferencia con otras especialidades lo logramos, en esta tesis, mediante la implementación del *Building Information Modeling* (BIM) por medio del software SmartPlant. Esta herramienta facilita el desarrollo del análisis de restricciones en la etapa de planeamiento del lookahead.
4. Según la figura del tren de trabajo se requeriría 182 días para terminar la instalación de tuberías para del sistema de agua contraincendios (esto sin considerar la instalación de hidrantes y gabinetes), un tiempo bastante bueno

comparado con los 690 días que se requirió para su ejecución de forma tradicional, inclusive bastante bueno comparado con la fecha indicada por el cliente que es de 425 días.

Según los resultados obtenidos, se concluye que aplicando *Lean Construction* para la ejecución del sistema de agua contraincendios comparado con el costo contractual se obtendría un ahorro de S/. 2'054,881.10 y comparando con el costo que demandó la ejecución real se obtendría un ahorro de S/. 3'715,017.77. Estos costos son sin incluir los costos de la tubería, accesorios ni alquiler de la máquina de termofusión.

4.2 RECOMENDACIONES.

1. Debido a que en la mayoría de los proyectos que se gestionan de manera tradicional se trabaja por procesos de conversión y no por flujo de procesos, se obvian las pequeñas pérdidas de tiempo (trabajo contributivo y no contributivo), es recomendable la toma de datos para posteriormente proponer la implementación *Lean Construction* mediante un análisis comparativo basados en estos datos.
2. Para llegar a implementar con éxito la filosofía *Lean Construction* el gerente de construcción o líder máximo del proyecto debe dar el respaldo dirigiendo, controlando tomando medidas correctivas y promoviendo mejoras continuas en la construcción.
3. Se recomienda capacitar a todo el personal en cuanto al pensamiento *Lean Construction* para que todos (sin importar la jerarquía) puedan aportar a la mejora continua de los procesos mediante la libertad de opinión asimismo se sientan comprometidos.
4. Durante la etapa de implementación de *Lean Construction* se recomienda hacer reuniones semanales para ver el cumplimiento de lo programado, hacer el programa de las siguientes semanas y delegar responsables para levantar las restricciones.

5. Como se ha podido demostrar en la presente tesis la *Filosofía Lean Construction* se puede aplicar a proyectos de construcción lineal como obras de agua potable, alcantarillado, agua contra incendios, canales, carreteras, etc. Por lo que se recomienda implementarla a este tipo de proyectos y no limitarla solamente a proyectos inmobiliarios.

6. Para controlar un evento externo que escapa de nuestro control como condiciones climáticas adversas, paralizaciones por huelga, etc. y que no fue considerado dentro de nuestra programación semanal se debe disponer de un día de la semana (libre de trabajo-buffers de tiempo) para ejecutar lo que no se puede realizar y así cumplir con el programa de la semana.

BIBLIOGRAFIA

- Guzman Tejada, A. (2014). *Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y Control de Proyectos*. Tesis para optar el Título de Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Botero Botero, L. (2001) “*Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)*”. *Revista Universidad EAFIT*. Medellín, 23 de julio, volumen 40, número 136.
- Martinez Ribon, J. (2011) *Propuesta de Metodología para la Implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en Proyectos de Construcción*. Tesis presentada como requisito parcial para optar el Título de Magister en Administración. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Administración y Contaduría.
- Glenn Ballard, H. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Thesis for the degree of doctor. Birmingham: University of Birmingham. Faculty of Civil Engineering
- Womack P, J. (2005). *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. España: Ediciones Gestión 2000.
- Khanzode, Atul, Martin Fischer y Glenn Ballard. (2006). *A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process*.
- Jacob Isaac, L. (2013) *Standardized Work*. Consulta: 01 de abril de 2016.
Recuperado de < <https://www.youtube.com/watch?v=KP6wLw1jhzA>>
- La Rosa, E. y F. Velasquez. (2013) “Enfoque de calidad de Ishikawa”. “S/L” 28 de mayo de 2013. Consulta: 10 de abril de 2016. Recuperado de <https://enfocdecalidad.wordpress.com/2013/05/28/enfoque-de-calidad-de-ishikawa/>
- Lauri, K. (1992). *Application of the new Production Philosophy to Construction*. Centre for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University.
- Pons Achell, J. (2014) *Introducción a Lean Construction*. 1ra Edición. Fundación Laboral de la Construcción. Madrid: marzo de 2014.

- Ghio Castillo, V. (2001). *Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuesta*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Glenn Ballard, H. (05 de 2000). *The Last Planner System Production Control*. Obtenido de Lean Construction: <http://www.leanconstruction.dk/media/15590/ballard2000-dissertation.pdf>
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., & Ballard, G. (12 de 2006). *A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process*. Obtenido de Center For Integrated Facility Engineering: <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP093.pdf>

ANEXOS

| LOOKAHEAD | | | | | | SEMANA 17 | | | | | SEMANA 18 | | | | | SEMANA 19 | | | | | SEMANA 20 | | | | | SEMANA 21 | | | | | SEMANA 21 | | | | | SEMANA 21 | | | | | SEMANA 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|---------|---------------|---------------|----------------|------------|-----------------------|---------------------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|-----------|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|
| Descripción de la Actividad | Und | Jornada | Metrado Total | HH Requeridas | HH Programadas | Ratio Meta | Ratio de Programación | 21-oct-13 | | | | | 22-oct-13 | | | | | 23-oct-13 | | | | | 24-oct-13 | | | | | 25-oct-13 | | | | | 26-oct-13 | | | | | 27-oct-13 | | | | | 28-oct-13 | | | | | 29-oct-13 | | | | | 30-oct-13 | | | | | 31-oct-13 | | | | | 01-nov-13 | | | | | 02-nov-13 | | | | | 03-nov-13 | | | | | 04-nov-13 | | | | | 05-nov-13 | | | | | 06-nov-13 | | | | | 07-nov-13 | | | | | 08-nov-13 | | | | | 09-nov-13 | | | | | 10-nov-13 | | | | | 11-nov-13 | | | | | 12-nov-13 | | | | | 13-nov-13 | | | | | 14-nov-13 | | | | | 15-nov-13 | | | | | 16-nov-13 | | | | | 17-nov-13 | | | | | 18-nov-13 | | | | | 19-nov-13 | | | | | 20-nov-13 | | | | | 21-nov-13 | | | | | 22-nov-13 | | | | | 23-nov-13 | | | | | 24-nov-13 | | | | | 25-nov-13 | | | | | 26-nov-13 | | | | | 27-nov-13 | | | | | 28-nov-13 | | | | | 29-nov-13 | | | | | 30-nov-13 | | | | | 01-dic-13 | | | | | 02-dic-13 | | | | | 03-dic-13 | | | | | 04-dic-13 | | | | | 05-dic-13 | | | | | 06-dic-13 | | | | | 07-dic-13 | | | | | 08-dic-13 | | | | | 09-dic-13 | | | | | 10-dic-13 | | | | | 11-dic-13 | | | | | 12-dic-13 | | | | | 13-dic-13 | | | | | 14-dic-13 | | | | | 15-dic-13 | | | | | 16-dic-13 | | | | | 17-dic-13 | | | | | 18-dic-13 | | | | | 19-dic-13 | | | | | 20-dic-13 | | | | | 21-dic-13 | | | | | 22-dic-13 | | | | | 23-dic-13 | | | | | 24-dic-13 | | | | | 25-dic-13 | | | | | 26-dic-13 | | | | | 27-dic-13 | | | | | 28-dic-13 | | | | | 29-dic-13 | | | | |
| | | | | | | | | MANO DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | m | 6.00 | 1,991.00 | 288.70 | 289.00 | 0.14500 | 0.1452 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | und | 8.00 | 320.00 | 960.00 | 960.00 | 3.0000 | 3.0000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | m | 10.00 | 1,991.00 | 796.40 | 796.00 | 0.4000 | 0.3998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | m | 2.00 | 1,991.00 | 796.40 | 156.00 | 0.4000 | 0.0784 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | m | 4.00 | 1,991.00 | 264.80 | 265.00 | 0.1330 | 0.1331 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA II - FACILITY 0330 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | m | 6.00 | 2,046.00 | 613.80 | 432.00 | 0.30000 | 0.2111 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | und | 8.00 | 357.00 | 1,071.00 | 756.00 | 3.0000 | 2.1176 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | m | 10.00 | 2,046.00 | 818.40 | 560.00 | 0.4000 | 0.2737 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | m | 2.00 | 2,046.00 | 818.40 | 109.00 | 0.4000 | 0.0533 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | m | 4.00 | 2,046.00 | 272.12 | 161.00 | 0.1330 | 0.0885 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA III - FACILITY 0370 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | m | 10.00 | 2,066.00 | 1,756.10 | 918.00 | 0.85000 | 0.4443 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | und | 8.00 | 348.00 | 1,044.00 | 540.00 | 3.0000 | 1.5517 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | m | 10.00 | 2,066.00 | 826.40 | 418.00 | 0.4000 | 0.2023 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | m | 2.00 | 2,066.00 | 826.40 | 81.00 | 0.4000 | 0.0392 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | m | 4.00 | 2,066.00 | 274.78 | 134.00 | 0.1330 | 0.0649 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| METRADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA I - FACILITY 0921 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | - | - | - | 1,991.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | - | - | - | 320.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | - | - | - | 1,991.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | - | - | - | 1,991.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | - | - | - | 1,991.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA II - FACILITY 0330 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | - | - | - | 2,046.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | - | - | - | 357.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | - | - | - | 2,046.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | - | - | - | 2,046.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | - | - | - | 2,046.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA III - FACILITY 0370 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excavación | - | - | - | 2,066.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Termofusionado | - | - | - | 348.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prueba Hidrostática | - | - | - | 2,066.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendido de Tubería | - | - | - | 2,066.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relleno | - | - | - | 2,066.000 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jornada: 10 horas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL EFECTIVO (ETAPA I) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL EFECTIVO (ETAPA II) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL EFECTIVO (ETAPA III) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL REAL (ETAPA I) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL REAL (ETAPA II) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERSONAL REAL (ETAPA III) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HHs Requeridas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HHs Programadas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EFICIENCIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HH PROG. REALES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TAL DE HH PROG. REAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |