

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL:

**“APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA
PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS
EN EL PROYECTO DE VIVIENDA EL NUEVO RANCHO, SURCO, LIMA”**

Presentada por el bachiller:

Elisa Raquel Maldonado Uría

Tacna, Agosto del 2017

DEDICATORIA

A Víctor, mi esposo, mi gran apoyo en este corto viaje que llamamos vida. Tu perseverancia me inspira cada día y me desafía a cumplir con el plan que Dios tiene para mí.

A mis padres, quienes con su ejemplo y enseñanzas forjaron la persona que soy hoy, gracias por mostrarme el camino a Cristo.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis mentores en Graña y Montero, quienes me dieron la confianza de aprender este nuevo estilo de trabajo y aplicarlo cada día, permitiendo mi crecimiento profesional.

Al Ing. Julio Gonzales, mi asesor, por su apoyo y por creer en esta idea desde el principio.

RESUMEN

La industria de la construcción es a menudo considerada como conservadora, resistente a los cambios y reticente a adoptar los avances tecnológicos. Esta descripción generalmente se ajusta bien a la realidad. Sin embargo gracias al trabajo de Lauri Koskela, la industria de la construcción fue una de las primeras industrias en considerar la adopción de la Filosofía Lean Production, proveniente de la industria automovilística y difundida tres años antes por investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Sin embargo su difusión y aplicación en nuestro país está limitado a un grupo reducido de empresas, quienes vienen aplicando esta metodología hace algunos años con resultados alentadores.

La tesis tiene por objetivo demostrar la aplicación de la filosofía Lean Construction como método de planificación, ejecución y control de un proyecto de construcción desarrollado en la ciudad de Lima, optimizando la productividad, el costo y cumplimiento de la programación en la ejecución de las partidas desarrolladas por personal de la empresa.

A lo largo de este trabajo se describen los principales conceptos y herramientas de la filosofía lean para poder generar una base teórica sólida que respalde la aplicación de herramientas y el análisis de resultados en el proyecto. Además, se analiza y describe de forma detallada como se aplican las herramientas más importantes de esta filosofía con la finalidad de difundir la metodología de aplicación de cada herramienta y servir de guía para profesionales o empresas que busquen implementar Lean Construction en sus proyectos.

Analizaremos el desarrollo y performance del proyecto para poder llegar a conclusiones y propuestas de mejora que puedan ser aplicadas por la empresa, y otras empresas, en la ejecución de próximos proyectos aplicando la metodología de mejora continua.

ABSTRACT

The construction industry is often considered as conservative, resistant to change and reluctant to adopt technological advances. This description generally fits well with reality. However, thanks to the work of Lauri Koskela, the construction industry was one of the first industries to consider the adoption of the Lean Production Philosophy, which came from the automotive industry and spread three years earlier by researchers from the Massachusetts Institute of Technology (MIT). However, its diffusion and application in our country is limited to a small group of companies, who have been using this methodology for some years now getting encouraging results.

The thesis aims to demonstrate the application of the Lean Construction philosophy as a method of planning, execution and control of a construction project developed in the city of Lima, optimizing the productivity, cost and compliance of programming in the execution of the activities developed by personnel of the company.

Throughout this paper, the main concepts and tools of the lean philosophy are described in order to generate a solid theoretical base that supports the application of tools and the analysis of results in the project. In addition, it analyzes and describes in detail how the most important tools of this philosophy are applied in order to spread the application methodology of each tool and serve as a guide for professionals or companies that seek to implement Lean Construction in their own projects.

We will analyze the development and performance of the project in order to reach conclusions and proposals for improvement that can be applied by the company and other companies as well, in the execution of future projects applying the methodology of continuous improvement.

INDICE

1.	CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Justificación	1
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Hipótesis	4
1.3.1.	Hipótesis General	4
1.3.2.	Hipótesis Específicas	4
1.4.	Objetivos	5
1.4.1.	Objetivo General	5
1.4.2.	Objetivos Específicos	5
2.	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1.	Breve Reseña Histórica	8
2.2.	Triángulo Lean	9
2.3.	Principios de la Filosofía Lean	10
2.4.	Lean Production	12
2.5.	Lean Construction	18
2.5.1.	Origen de Lean Construction	18
2.5.2.	Definición de Lean Construction	19
2.5.3.	Principios de Lean Construction	21
2.5.4.	Beneficios que aporta Lean Construction	25
2.6.	Lean Project Delivery System	26

2.6.1.	Diferentes fases de un proyecto Lean según LPDS	28
2.7.	Integrated Project Delivery System	30
2.8.	Last Planner System	33
2.8.1.	Definición de Last Planner System	33
2.8.2.	Origen de Last Planner System	34
2.8.3.	Componentes de Last Planner System	36
2.8.4.	Pull vs Push	38
2.8.5.	Niveles de Programación	38
2.9.	Definición de términos	43
2.9.1.	Productividad	43
2.9.2.	Variabilidad	46
2.9.3.	Curva de Aprendizaje	47
2.9.4.	Tren de Actividades	48
2.9.7.	Buffers	49
3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA	53
3.1.	Lean Project Delivery System - LPDS	53
3.1.1.	First Run Studies	53
3.1.2.	Curvas de Productividad	56
3.1.3.	Presupuesto en Obra	58
3.1.4.	Sectorización	58
3.1.5.	Carta Balance	58
3.1.6.	Informe Semanal de Producción (I.S.P)	59

3.1.7.	Control de Calidad	59
3.2.	Last Planner System - LPS	60
3.2.1.	Programación Maestra	60
3.2.2.	Lookahead	60
3.2.3.	Programación Semanal	61
3.2.4.	Programación Diaria	61
3.2.5.	Análisis de Restricciones	62
3.2.6.	Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)	63
4.	CAPITULO IV: DESCRIPCION DEL PROYECTO	64
4.1.	Descripción de la Empresa	64
4.2.	Descripción del proyecto	66
4.3.	Producción de la Obra	67
4.4.	Organigrama	68
4.5.	Equipos	68
4.6.	Descripción ingenieril	69
4.7.	Cargos y Responsabilidades	70
5.	CAPITULO V: APLICACIÓN Y RESULTADOS	74
5.1.	First Run Studies	75
5.2.	Presupuesto en Obra	81
5.3.	Informe Semanal de Producción	86

5.4.	Curvas de Productividad	105
5.5.	Sectorización	109
5.6.	Tren de Actividades	117
5.7.	Dimensionamiento de Cuadrillas	118
5.8.	Carta Balance	125
5.9.	Control de Calidad	144
5.10.	Programación Maestra	154
5.11.	Lookahead	161
5.12.	Programación Semanal	166
5.13.	Programación Diaria	169
5.14.	Análisis de Restricciones	173
5.15.	Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)	177
5.16.	Variabilidad	187
6.	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA	189
6.1.	Conclusiones	189
6.2.	Propuestas de Mejora	191
7.	ANEXOS	
7.1.	Presupuesto de Obra	
7.2.	Cronograma de Obra	
7.3.	Planos del Proyecto	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Triángulo Lean. Fuente: Eugenio Pellicer

Figura 2: Clasificación de actividades según Lean Production. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3: Adaptación actualizada de la Casa Toyota. Fuente: Hernandez y Vizán

Figura 4: Transformación del proceso. Fuente: Lauri Koskela

Figura 5: Inspecciones durante el proceso. Fuente: Lauri Koskela

Figura 6: Modelo de flujo. Fuente: Capitulo Peruano LCI

Figura 7: Modelo de flujo con flujos eficientes. Fuente: Capitulo Peruano LCI

Figura 8: Modelo de flujo con procesos eficientes. Fuente: Capitulo Peruano LCI

Figura 9: Beneficios Lean. Fuente: McGraw Hill Construction

Figura 10: Lean Project Delivery System. Fuente: Glenn Ballard.

Figura 11: Proceso Tradicional del Diseño. Fuente: IPD

Figura 12: Proceso Integrado del Diseño. Fuente: IPD

Figura 13: Filosofía de planificación según método tradicional (izquierda), Filosofía de planificación según método Lean (derecha). Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Modelo general de Planificación del Proyecto usando LPS. Fuente: Glenn Ballard

Figura 15: Tabla de porcentajes de actividades predecesoras. Fuente: Capitulo Peruano LCI

Figura 16: Tiempo requerido para fabricación de partes de avión Fuente: Curve Learning.

Figura 17: Curvas de productividad en disminución. Fuente: Lauri Koskela

Figura 18: Curvas de productividad en mejora Fuente: Lauri Koskela

Figura 19: Obra Finalizada. Fuente: Elaboración Propia

Figura 20: Organigrama de Obra. Fuente: Elaboración Propia

Figura 21: Formato A3 – Presentación de Resultados PDCA. Fuente: Elaboración Propia

Figura 22: Formato PDCA Perfilado de Muro. Fuente: Elaboración Propia

Figura 23: Formato PDCA Acero de Muro. Fuente: Elaboración Propia

Figura 24: Formato PDCA Encofrado de Muro. Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Sectorización de Muros Pantalla. Fuente: Elaboración Propia

Figura 26: Ratio Meta de Concreto Simple según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

Figura 27: Ratio Meta de Concreto Premezclado según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

Figura 28: Ratio Meta de Acero según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

Figura 29: Ratio Meta de Encofrado según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

Figura 30: Tareo Diario Sectores 1 y 2. Fuente: Elaboración Propia

Figura 31: Tareo Diario Sectores 3 y 4. Fuente: Elaboración Propia

Figura 32: Tareo Diario Sectores 5 y 6. Fuente: Elaboración Propia

Figura 33: Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 34: Tareo Diario de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 35: Reporte de Almacén de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 36: IP de Acero de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 37: Resumen Semanal de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 38: Sustento del IP de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 39: Hoja de Producción de Encofrado. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 40: Tareo Diario de la Hoja de Producción de Encofrado. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 41: IP de Encofrado de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 42: Resumen Semanal de la Hoja de Producción de Encofrado. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 43: Sustento de IP de la Hoja de Producción de Encofrado. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 44: Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 45: Tareo Diario de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 46: Reporte de Almacén de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 47: IP de Concreto de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 48: Resumen Semanal de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 49: Sustento del IP de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 50: Curvas de Producción para las partidas en las primeras tres semanas. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 51: Curvas de Producción para las partidas en las primeras seis semanas. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 52: Curvas de Producción para las partidas al final del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 53: Proceso de sectorización para edificaciones. Fuente: Elaboración Propia

Figura 54: División de actividades por día. Fuente: Elaboración Propia

Figura 55: Sectorización en Sótanos. Fuente: Elaboración Propia

Figura 56: Sectorización en Torre. Fuente: Elaboración Propia

Figura 57: Corte de Vaciado según sectorización. Fuente: Elaboración Propia

Figura 58: Ejemplo dinámico de Sectorización. Fuente: Edifica

Figura 59: Dimensionamiento para cuadrilla de acero. Fuente: Elaboración Propia

Figura 60: Dimensionamiento para cuadrilla de encofrado. Fuente: Elaboración Propia

Figura 61: Dimensionamiento para cuadrilla de concreto. Fuente: Elaboración Propia

Figura 62: Formato de Registro de datos de Cartas de Balance de Encofrado. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 63: Formato de Registro de datos de Cartas de Balance de Acero. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 64: Formato de Registro de datos de Cartas de Balance de Vaciado de Concreto. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 65: Formato de Cartas de Balance. Fuente: Elaboración Propia

Figura 66: Nivel de Actividad de la Cuadrilla. Fuente: Elaboración Propia

Figura 67: Distribución del trabajo productivo. Fuente: Elaboración Propia

Figura 68: Distribución del trabajo contributivo. Fuente: Elaboración Propia

Figura 69: Distribución del trabajo no contributivo. Fuente: Elaboración Propia

Figura 70: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Lopez. Fuente: Elaboración Propia

Figura 71: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Velazques. Fuente: Elaboración Propia

Figura 72: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Uribe. Fuente: Elaboración Propia

Figura 73: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Núñez. Fuente: Elaboración Propia

Figura 74: Resultados de la ocupación de tiempo del Oficial Aburto. Fuente: Elaboración Propia

Figura 75: Resultados de la ocupación de tiempo del Oficial Flores. Fuente: Elaboración Propia

Figura 76: Resultados de la ocupación de tiempo del Ayudante Ramos. Fuente: Elaboración Propia

Figura 77: Resultados de la ocupación de tiempo del Ayudante Vera. Fuente: Elaboración Propia

Figura 78: Estadística publicada por Virgilio Ghio sobre 50 obras en Lima

Figura 79: Estadística publicada en tesis de pre-grado PUCP, 2006

Figura 80: Hoja de Control de Concreto. Fuente: Elaboración Propia

Figura 81: Hoja de Control de Rotura de probetas. Fuente: Elaboración Propia

Figura 82: Protocolo de Liberación de Vaciado de Concreto – Hoja 1. Fuente: Área de Calidad de Graña y Montero

Figura 83: Protocolo de Liberación de Vaciado de Concreto – Hoja 2. Fuente: Área de Calidad de Graña y Montero

Figura 84: Programación Maestra por Hitos, Proyecto El Nuevo Rancho, Graña y Montero. Fuente: Propia

Figura 85: Hitos de la Programación Maestra, Proyecto El Nuevo Rancho, Graña y Montero. Fuente: Elaboración Propia

Figura 86: Lookahead a 4 semanas. De la Semana 03 a la 06. Fuente: Elaboración Propia

Figura 87: Lookahead Gráfico. Fuente: Elaboración Propia

Figura 88: Actividades Planificadas. Parte del Lookahead. Fuente: Elaboración Propia

Figura 89: Programación por Semana. Parte del Lookahead. Fuente: Elaboración Propia

Figura 90: Programación de llegada de materiales. Parte del Lookahead. Fuente: Elaboración Propia

Figura 91: Programación semanal Semana 1. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 92: Programación diaria. El Nuevo rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 93: Programación diaria Gráfica. El Nuevo rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 94: Análisis de Restricciones Lookahead Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Figura 95: Variación de las restricciones según cada tipo a través del tiempo y Variación del total de restricciones a través del tiempo. Fuente: Elaboración Propia

Figura 96: Formato de análisis de confiabilidad PPC Semana 5. Fuente: Elaboración Propia

Figura 97: PPC semanales para la etapa de casco. Fuente: Elaboración Propia

Figuras 98: PPC Semanal y PPC acumulado. Fuente: Elaboración Propia

Figura 99: Catálogo de causas de incumplimiento. Fuente: Edifica

Figura 100: CNC tomadas del Formato de PPC y Análisis de cumplimiento de la Semana 06.
Fuente: Elaboración Propia

Figuras 101: CNC tomadas del Formato de PPC y Análisis de cumplimiento. Fuente:
Elaboración Propia

LISTA DE REFERENCIAS

- (1) Colaboración de NASFA, COAA, PPA, AGC y AIA, (2010). Integrated Project Delivery for Public and Private Owners.
- (2) Hernán Porrás Díaz, PhD, Msc. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual.
- (3) Virgilio Ghio Castillo. (2001). Productividad en obras de construcción Diagnostico, Critica y Propuesta. Capítulo 2: Diagnóstico, pág. 45.
- (4) Glenn Ballard. (2000). The Last Planner System of Production Control, page 82.
- (5) Roos, Womack, and Jones. (1990). The Machine that Changed the World.
- (6) Eugenio Pellicer. (2005). Gestión de proyectos (Project management). Universidad Politécnica de Valencia.
- (7) Sayer y Williams. (2007). Lean for Dummies.
- (8) Jeffrey K. Liker. (2006). El Modelo Toyota - Los 14 principios de gestión del mayor productor del mundo.
- (9) Juan Carlos Hernández y Antonio Vizán. (2013). Lean Manufacturing,
- (10) www.leanconstruction.org – About Us – What is Lean Design & Construction?
- (11) Lauri Koskela. (1992) .Application of the New Production Philosophy to Construction
- (12) César Guzman Marquina, LCI. (2014). Lean Construction – Mejoramiento de la Productividad.
- (13) McGraw Hill Construction. (2013). Lean Construction – Leveraging Collaboration and Advanced Practices to increase Project Efficiency, pág 26.
- (14) Glenn Ballard. (2008). The Lean Project Delivery System: An Update, page 5

- (15) AIA California Council. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide, page 22
- (16) Alfredo Serpell. (2002). Administración de operaciones de construcción, pág 47
- (17) T.P, Wright. (1936). Learning Curve.
- (18) Dr. Glenn Ballard, co–fundador y director de la investigación del Lean Construction Institute, Lima. Conferencia de IGLC número 19.
- (19) Nayda Morales y John Galeas. (2006). Tesis Pre-Grado PUCP. Diagnóstico y evaluación de la Relación entre el Grado de Industrialización y los sistemas de gestión con el nivel de productividad en obras de construcción, pág 53.
- (20) Daniel Eduardo Sabbatino. (2011). Directrices y Recomendaciones para una buena implementación del sistema Last Planner en proyectos de edificación en Chile.
- (21) Guzman Abner
- (22) Mariano Vilca Uzátegui. (2014). Mejora de la productividad por medio de las cartas balance en las partidas de Solaqueo y tarrajeo de un edificio multifamiliar. Perú
- (23) Jairo Alvarez Valdés. (2013). Impacto sobre productividad y seguridad en procesos de Construcción al usar sistemas avanzados de adquisición y procesamiento de datos – un estudio de casos. Chile.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente la Industria de la Construcción se ha caracterizado por el poco planeamiento que existe desde la propia apertura de la empresa, sus objetivos sociales y la forma como ésta es constituida, en realidad es un problema casi mundial, ya que en general la industria de la construcción, a diferencia de otros sectores productivos donde se usan hasta procesos robotizados, se encuentra técnicamente retrasada y poco industrializada, a pesar de contar con maquinaria y equipo computarizado y profesionales altamente calificados.

El rubro de la construcción viene creciendo en el Perú debido al déficit de infraestructuras existentes. Sin embargo, la mayoría de empresas trabaja bajo un sistema de construcción tradicional con procedimientos constructivos ineficientes, lo que nos limita como país a crecer con mayor velocidad.

Esto nos permite ver la poca evolución que ha estado teniendo el sector construcción en el Perú a pesar del crecimiento económico que tenemos como país. Por estas razones, es de suma importancia desarrollar una adecuada gestión de los recursos involucrados en la construcción con la finalidad de controlar los desperdicios y la productividad.

La planificación y ejecución de los proyectos de construcción en el Perú está en proceso de cambio. Su implementación está acompañada de un avance tecnológico que no está a la medida de la industrialización, pero que poco a poco va haciendo más competitivo y productivo el rubro. Estos cambios que vienen dándose en el Perú, incluyen nuevas metodologías de construcción, entre las cuales está la filosofía Lean Construction.

Esta filosofía tiene la intención de mejorar a gran nivel la producción de la industria con su metodología de trabajo enfocada en la reducción de los desperdicios a través de las herramientas que propone, siendo la más importante de ellas el Last Planner System

En esta tesis se aplican los conceptos del “Lean Construction” o “Construcción sin pérdidas”, alternativa que se viene usando con buenos resultados en las mejores empresas del mundo y desde hace algunos años en nuestro país, a un proyecto de edificaciones para poder estudiar los resultados de su aplicación y su impacto en el resultado del proyecto.

ANEXOS

1. CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Justificación

De acuerdo a un equipo estadounidense conformado por promotores, arquitectos y constructores, en el informe publicado en 2010, titulado “Integrated Project Delivery for Public and Private Owners” ⁽¹⁾, los problemas típicos del modelo tradicional de la gestión integral de proyectos, desde su fase inicial de diseño hasta su ejecución, uso y mantenimiento, incluyen:

- Escasa formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de obras.
- Control de calidad ineficaz basado en métodos estadísticos que están lejos de garantizar el cien por ciento de la calidad.
- Escaso rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.
- Errores y omisiones en proyectos.
- Falta de interés en la formación y capacitación de los trabajadores.
- Falta de coordinación entre los actores intervinientes en las diferentes etapas del proyecto.
- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas
- Baja productividad comparada con otras industrias.

Las principales consecuencias de todo ello son bien conocidas: ejecución de obras fuera de plazo, sobrecostos, reclamaciones derivadas de la escasa calidad, excesivo número de accidentes laborales y, en general, incertidumbre y variabilidad con respecto a las condiciones iniciales del contrato. Las razones históricas de este mal funcionamiento son muchas, entre ellas, la multiplicidad de participantes con intereses en conflicto, una cultura organizacional incompatible entre los miembros del equipo de proyecto y el acceso limitado a la información oportuna, en el momento preciso.

De acuerdo al ensayo “Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual” ⁽²⁾. Encontramos que nuevas herramientas, metodologías y roles están influyendo y dando forma a cambios fundamentales en la cultura empresarial de la construcción. Estamos en las primeras etapas de una transformación acelerada, generalizada y positiva, y es muy importante que comprendamos por qué necesitamos un cambio de sistema productivo en la construcción. La necesidad de considerar nuevos métodos en la gestión integral de proyectos se hace cada vez más evidente por la reiteración de numerosos problemas relacionados con los métodos tradicionales actuales. En este sentido, muchos propietarios y usuarios comparten las frustraciones asociadas con los métodos tradicionales basados en el proceso tradicional de diseño-licitación-construcción. Este sistema se ve afectado por la falta de cooperación y la mala integración de la información.

Este cambio empezó hace más de dos décadas, primero en el sector automovilístico con la innovación dada por Taiichi Ohno, ejecutivo de Toyota; y poco a poco se fue extendiendo a otras industrias.

En América Latina hay un enorme interés por la aplicación de Lean Construction, que se aprecia de manera notable en países como Chile, Brasil y Perú. La aplicación de Lean Construction, que ya ha demostrado mayores niveles de transparencia y entrega de valor dirigida hacia el cliente, podría acelerar la confianza hacia el sector por parte de usuarios, consumidores e inversores por un lado, y entre contratistas, subcontratistas, técnicos, proveedores, promotores y administración pública, por otro. Ahora tenemos la necesidad y al mismo tiempo la oportunidad de recuperar tanto el tiempo perdido en la falta de inversión en innovación como la confianza de los clientes y propietarios.

1.2. Planteamiento del Problema

El rubro de la construcción viene creciendo significativamente en el Perú debido al déficit de infraestructura existente. Sin embargo, la mayoría de empresas se rige por un sistema de construcción tradicional con procedimientos constructivos ineficientes, lo que nos limita como país a crecer con mayor velocidad. Al bajo nivel de productividad se suma el problema de la seguridad laboral del sector. Estos indicadores nos permiten ver la escasa evolución que ha tenido el sector de la construcción en el Perú a pesar de vivir un buen momento económico.

Los cambios vienen dándose en el Perú a paso lento, la filosofía Lean Construction tiene la intención de mejorar a gran nivel la productividad en nuestra industria, con una metodología de trabajo enfocada en la reducción de los desperdicios a través de las herramientas que propone.

La aplicación de esta filosofía en nuestro país viene aplicándose solo a algunas empresas del rubro, quienes están obteniendo resultados alentadores en el incremento de su productividad y en el valor agregado al cliente. El presente trabajo busca hacer conocer estos últimos conceptos y herramientas que significan un gran avance para la industria de la construcción y demostrar su aplicabilidad en los diversos proyectos tomando en cuenta la coyuntura de cada proyecto como única y diferente de acuerdo a cada obra.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

La filosofía Lean Construction es aplicable a los proyectos proporcionando una mejora en los entregables al cliente.

1.3.2. Hipótesis Secundarias

- Las herramientas LPDS son aplicables a un proyecto de vivienda, como propuestas para mejorar la productividad en obra basadas en un concepto simple como la reducción de las pérdidas.
- Las herramientas LPS permiten incrementar el nivel de confiabilidad de la programación en obra para minimizar la variabilidad en la obra.
- Los resultados obtenidos permitirán al proyecto incrementar el valor del producto para el cliente final y a su vez incrementar las ganancias del proyecto.

- Las herramientas propuestas por la Filosofía Lean Construction son aplicables de acuerdo a la particularidad de cada proyecto y aporta diferentes beneficios que han de analizarse según los objetivos del proyecto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Mostrar los resultados a nivel general de un proyecto de edificaciones aplicando las herramientas Lean Construction, identificar las herramientas usadas y mostrar los resultados obtenidos en el proyecto.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Medir los niveles de productividad del proyecto y comparar los resultados alcanzados con las mediciones realizadas en los años 2001 y 2006.
- Mostrar los resultados de las mediciones del PPC (Porcentaje de Plan Completado) según las herramientas aplicadas del Last Planner System (LPS) al proyecto estudiado.
- Medir los ratios obtenidos mediante las curvas de productividad y obtener si existe un ahorro para el proyecto, luego de haber aplicado las herramientas propuesta por la filosofía lean.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Breve Reseña Histórica

Para conocer los inicios de Lean hemos de remontarnos a los primeros pasos de la fábrica japonesa de automóviles Toyota.

Toyota Motor fue fundada en 1918 por Sakichi Toyoda. El mercado japonés estaba dominado en ese momento por las filiales locales de las grandes fábricas estadounidenses Ford y General Motors. Desde sus inicios Toyota tuvo dificultades, pero consiguió afianzarse con la producción de camiones y automóviles hasta que se detiene la producción en la segunda Guerra Mundial. En 1950 el director general de la empresa estudia en EEUU los métodos de fabricación de las principales marcas de la competencia, una práctica que era habitual en el sector.

Quien desarrolló definitivamente Toyota fue Taiichi Ohno, quien no tenía conocimientos previos de fabricación de automóviles cuando entró a trabajar a Toyota, y “el enfoque de sentido común”, sin ideas preconcebidas fue el instrumento fundamental de desarrollo de la filosofía JUST IN TIME.

Los argumentos desarrollados por Ohno fueron los siguientes:

- La producción en grandes lotes genera inventarios excesivos, gran inversión de capital y número elevado de defectos.
- No da cabida a las preferencias del consumidor.

- Deben reducirse costos mediante la eliminación de residuos. Se redujeron las recepciones y producciones. Ahora se trabajaba en pequeños lotes, gracias al uso de maquinaria simple y registrable.

Fueron cambios revolucionarios, pero adaptados a las necesidades, gracias a un aprendizaje continuo e iterando un ciclo que abarcó décadas.

Lean no fue una invención de genios japoneses, si no la adopción de diversos elementos del sistema Ford, junto a su ingenioso sistema e ideas originales. El primer documento donde aparece el sistema de producción Toyota es en 1965, cuando extienden los sistemas Kanban a sus proveedores. Pasa desapercibido hasta 1973, donde con la crisis del petróleo exige un renovado interés en la investigación del futuro de la industria de la automoción. En 1979 el Massachusetts Institute of Technology inició un proyecto de investigación de 5 años sobre el futuro de la industria automovilística, culminando con el libro “The Machine that Changed the World” ⁽⁵⁾, que describe de modo sencillo los resultados de la investigación.

2.2. Triángulo Lean

El pensamiento Lean es principalmente añadir valor y eliminar pérdidas. Si lo viésemos como un triángulo, en cada uno de sus vértices encontraríamos:

- La Filosofía, dado que Lean no es sólo un método de control, puesto que en sus fundamentos aparecen una serie de principios y se redefinen conceptos como valor, pérdidas o cliente.

- La cultura, ya que la aplicación de Lean es continua, los agentes se comprometen y es adaptable a los proyectos.
- La tecnología, dado que Lean se aplica a través de herramientas.

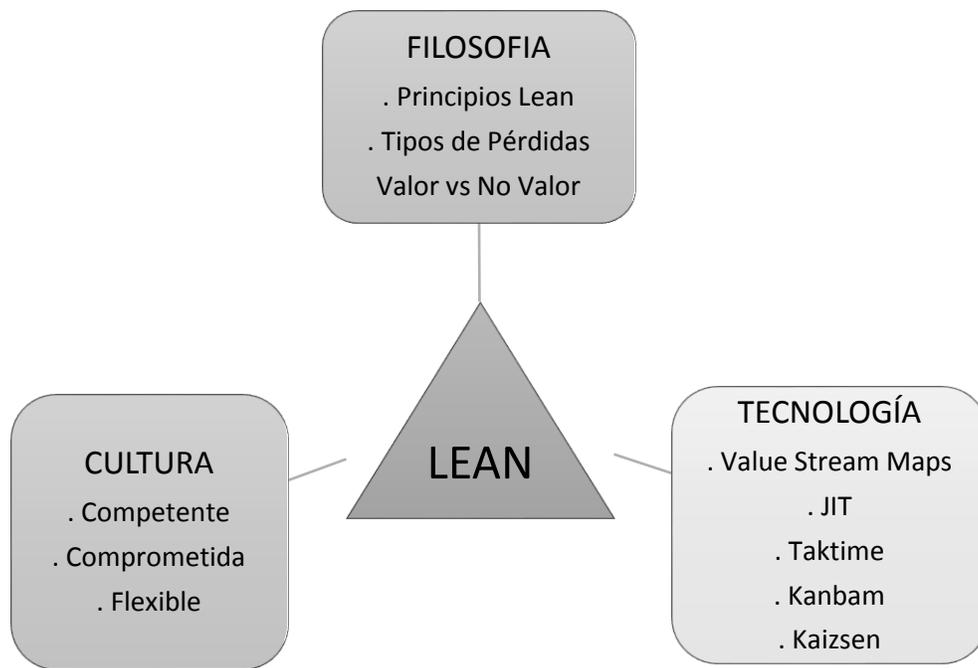


Figura 1: Triángulo Lean. Fuente: Eugenio Pellicer 2005 ⁽⁶⁾

2.3. Principios de la filosofía Lean

En la filosofía Lean, los procesos o actividades que no agregan valor se denominan pérdidas y se clasifican en tres tipos según Sayer y Williams ⁽⁷⁾:

- Mura (desigualdad): Es cualquier pérdida causada por una variación en la calidad, el costo o la entrega; para reducirla se aplican técnicas de reducción de la variabilidad.

- Muri (exceso): Es la sobrecarga innecesaria o irrazonable sobre el personal, los materiales o a los equipos que sobrepasan la capacidad del sistema.
- Muda (desperdicio): Es cualquier actividad que consume recursos sin crear valor para el cliente; hay dos tipos de muda:
 - Tipo 1: Incluye acciones que no añaden valor al producto, pero que son absolutamente necesarias para la organización.
 - Tipo 2: Acciones que ni añaden valor ni son necesarias para obtener el producto o servicio.

En sus fundamentos Lean reúne una serie de principios. Los 14 principios del modelo Toyota ⁽⁸⁾:

1. Basar las decisiones de gestión en una filosofía de largo plazo, aún a costa de las metas financieras de corto plazo.
2. Convertir los flujos de procesos en flujos continuos para hacer que los problemas salgan a la superficie.
3. Utilizar sistemas Pull: programación tensa para evitar tareas que no añadan valor.
4. Nivelar la carga de trabajo. (heijunka): Trabajar como la tortuga, es decir, de una manera constante, y no como la liebre, a golpes.
5. Crear una cultura de gestión a fin de resolver los problemas anticipadamente, para lograr calidad de ejecución a la primera.
6. Las tareas estandarizadas son el fundamento de la mejora continua y de la autonomía del empleado.

7. Usar el control visual de modo que no se oculten los problemas.
8. Utilizar tecnología fiable y absolutamente probada que dé servicio a la gente y los procesos.
9. Hacer crecer a líderes que comprendan perfectamente el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros (Kata).
10. Diseñar personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de su empresa.
11. Respetar a la red de socios y proveedores, desafiándoles y ayudándoles a mejorar.
12. Ir a verlo por uno mismo para comprender a fondo la situación.
13. Tomar decisiones por consenso lentamente, considerando concienzudamente todas las opciones e implementarlas rápidamente.
14. Convertirse en una organización que aprende mediante la reflexión constante (Hansei) y la mejora continua (Kaizen).

2.4. Lean Production

Lean Production es una metodología de línea de producción originalmente desarrollada por Toyota en la manufactura de automóviles. También se le conoce como el Sistema de Producción Toyota (TPS, por sus siglas en inglés), o también Producción Just-in-Time. Esta metodología tiene como finalidad eliminar o reducir los elementos que no aporten valor al producto. Los principios de Lean Production también son llamados Pensamiento Lean.

Las actividades en un proceso de producción se separan como se muestra en el siguiente gráfico:



Figura 2: Clasificación de actividades según Lean Production. Fuente: Tesis Guzman Abner PUCP ⁽²¹⁾.

De forma tradicional se ha recurrido al esquema de la “Casa del Sistema de Producción Toyota” para visualizar rápidamente la filosofía que encierra el Lean y las técnicas disponibles para su aplicación. Se explica utilizando una casa porque ésta constituye un sistema estructural que es fuerte siempre que los cimientos y las columnas lo sean; una parte en mal estado debilitaría todo el sistema. El gráfico representa una adaptación actualizada de esta “Casa”.

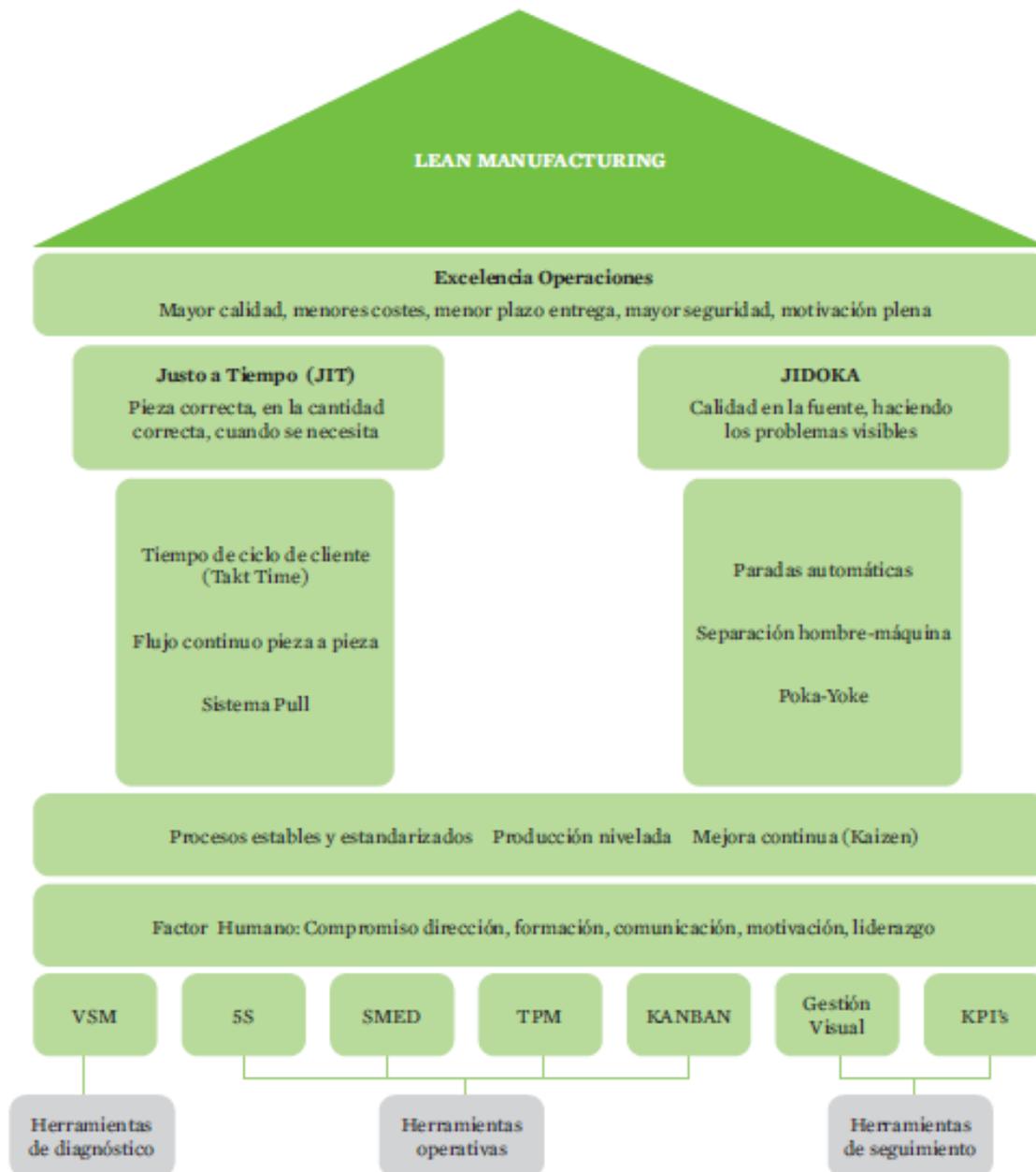


Figura 3: Adaptación actualizada de la Casa Toyota. Fuente: Hernandez y Vizán⁽⁹⁾

Los diferentes principios establecidos para Lean Construction fueron propuestos inicialmente por Lauria Koskela⁽¹¹⁾. Estos principios permiten sistematizar las aplicaciones de Lean:

- **Reducir la parte de las actividades que no agregan valor al producto.**

Se refiere a las actividades que no agregan valor y que se tratan de reducir y en el mejor de los casos eliminar.

- **Incrementar el valor del producto**

El valor es generado a través de la satisfacción de los requerimientos del cliente. Para cada actividad hay dos tipos de clientes, este puede ser interno o externo.

- **Reducir la variabilidad**

En la construcción la variabilidad y la incertidumbre son elevadas en función del carácter único del producto y de las condiciones locales que caracterizan a una obra.

- **Reducción del tiempo de ciclo**

El Tiempo de ciclo es igual al Tiempo de proceso más el tiempo de inspección más tiempo de espera más tiempo de movimiento o transporte. Por tanto la mejora con esta filosofía es comprimir el tiempo del ciclo, es decir reducir las duraciones de cada ítem de tiempo explicado anteriormente.

- **Simplificación de procesos**

La simplificar implica reducir el número de componentes de un producto y reducir el número de pasos en un flujo de material o información.

- **Aumentar la flexibilidad de los productos terminados**

Flexibilidad de la salida del producto no se contrapone a la Simplificación. Uno de los elementos claves es el diseño de productos modulares en conexión con un uso agresivo de otros principios como la reducción del tiempo del ciclo de trabajo y la transparencia.

- **Incrementar la transparencia en los procesos**

Se refiere a hacer el proceso directamente observable a través de un apropiado layout, realizar cartas balance, Reducir la interdependencia de las unidades de producción, establecer orden y limpieza.

- **Centrarse en el proceso global**

Conocer el proceso global para ser medido, se debe cambiar la postura de todos los involucrados para una misma meta, que es el proyecto terminado, incluso a los proveedores principio.

- **Introducir el mejoramiento continuo (Kaizen)**

La Mejora Continua es el esfuerzo para reducir los desperdicios e incrementar el valor del producto a través de una actividad interna, y creciente, repetitiva, que puede y debe ser llevado continuamente.

- **Referenciar los procesos (Benchmarking)**

Consiste en realizar continuamente un proceso de comparación con otra área, empresa, etc.

Dentro del concepto de Lean se identifican siete tipos de desperdicios, estos ocurren en cualquier clase de empresa o negocio y se presentan desde la recepción de la orden hasta la entrega del producto. A continuación se explica cada uno de ellos según Liker ⁽⁸⁾:

- **Sobre – Producción:**

Procesar artículos más temprano o en mayor cantidad que la requerida por el cliente.

Se considera como el principal y la causa de la mayoría de los otros desperdicios.

- **Esperas:**

Personal esperando por información o materiales para la producción, esperas por averías de máquinas o clientes esperando en el teléfono.

- **Transporte:**

Mover trabajo en proceso de un lado a otro, incluso cuando se recorren distancias cortas; también incluye el movimiento de materiales, partes o producto terminado hacia y desde el almacenamiento.

- **Sobre – Procesamiento:**

Realizar procedimientos innecesarios para procesar artículos, utilizar las herramientas o equipos inapropiados o proveer niveles de calidad más altos que los requeridos por el cliente.

- **Inventario:**

Excesivo almacenamiento de materia prima, producto en proceso y producto terminado. El principal problema con el exceso inventario radica en que oculta problemas que se presentan en la empresa.

- **Movimientos:**

Cualquier movimiento que el operario realice aparte de generar valor agregado al producto o servicio. Incluye a personas en la empresa subiendo y bajando por documentos, buscando, escogiendo, agachándose, etc. Incluso caminar innecesariamente es un desperdicio.

- **Defectos:**

Repetición o corrección de procesos, también incluye re-trabajo en productos no conformes o devueltos por el cliente

2.5. Lean Construction

2.5.1. Origen de Lean Construction

Durante su estancia en la Universidad de Stanford, California, USA, en 1992, el finlandés Lauri Koskela escribió el documento “Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción” en el que estableció los fundamentos teóricos del nuevo sistema de producción aplicado a la construcción. El trabajo pionero de Koskela fue un hito clave en el desarrollo de una corriente de investigación sobre la aplicación del sistema de producción Toyota y la filosofía Lean a la industria de la construcción. El término Lean Construction fue acuñado por los fundadores del Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) en 1993.

2.5.2. Definición de Lean Construction

La aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción se conoce como Lean Construction o construcción sin pérdidas.

Lean Construction abarca la aplicación de los principios y herramientas Lean al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Entendemos Lean como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por lo tanto, sus principios son aplicables en todas las fases de un proyecto: diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro.

El Lean Construction Institute (LCI) define así en su página web el término Lean Construction ⁽¹⁰⁾:

“Lean Construction es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto - una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras”.

La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada - maximizar el valor y minimizar los desperdicios - hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto. Como resultado:

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñados juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.
- El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costes o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.
- El Control se redefine como pasar de “monitorizar los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios. Lean Construction es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad. Se cuestiona la creencia de que siempre debe haber una relación entre el tiempo, el coste y la calidad (mayor calidad y mayor velocidad no tiene porqué implicar mayor coste)”).

2.5.3. Principios de Lean Construction

Al igual que en la industria, la construcción cuenta con problemas asociados a la gestión. La construcción es un sector muy tradicional y a pesar de eso, se han ido introduciendo técnicas operativas y prácticas (planificación del proyecto), herramientas de control, metodologías de organización, etc. Pero más allá de esto no existen otras marcas teóricas o conceptos: es necesaria una revisión de la gestión de proyectos.

Tradicionalmente se ve la construcción como un conjunto de actividades dirigidas a una salida determinada. Materiales, trabajo, etc. entran a una “caja negra” de la que salen los productos.

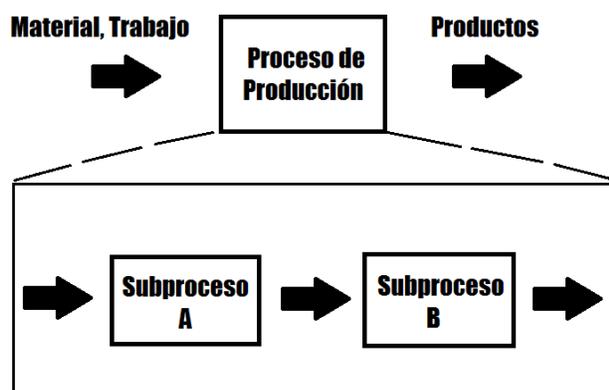


Figura 4: Transformación del proceso. Fuente: Lauri Koskela ⁽¹¹⁾

Según Koskela, la construcción debería verse como un conjunto de flujo de procesos, donde se pudieran introducir inspecciones en cada uno de los subprocesos, o incluso llegar a la inspección 0 por calidad a la primera.

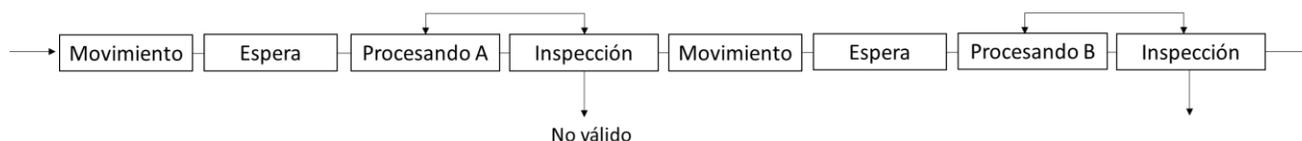


Figura 5: Inspecciones durante el proceso. Fuente: Lauri Koskela ⁽¹¹⁾

La filosofía Lean Construction busca generar un sistema de producción efectivo cumpliéndose 3 objetivos, descritos a continuación:

1. Asegurar que los flujos no paren ⁽¹²⁾

La primera etapa en la aplicación de esta filosofía consiste en lograr que el flujo sea continuo, dejando de lado la eficiencia de los mismos. Se podrá lograr la observación de errores en el proceso y mediante la aplicación de las herramientas desarrolladas eliminarlos. Estas herramientas son propuestas por Lean Construction, que están contenidas en el Last Planner System o Sistema del Último Planificador.

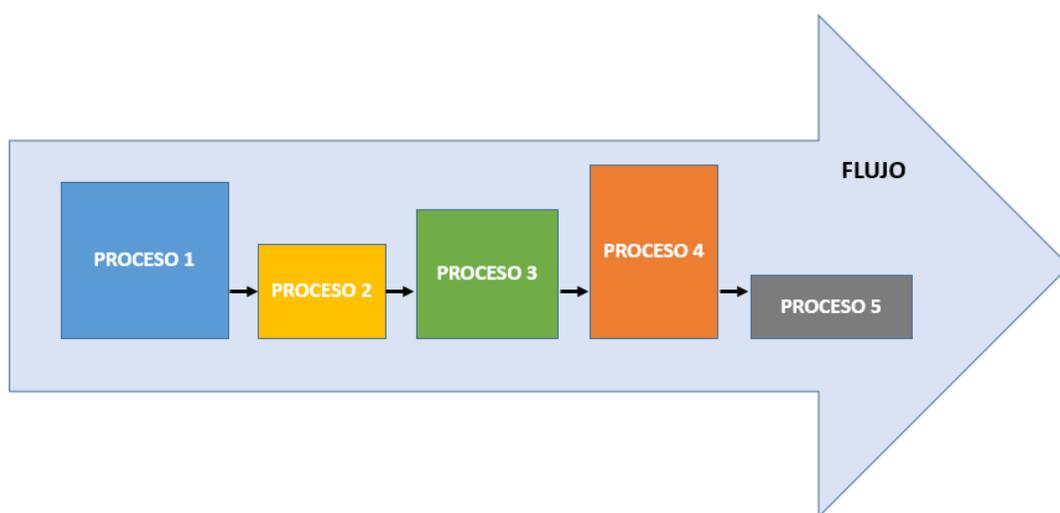


Figura 6: Modelo de flujo. Fuente: Capítulo Peruano LCI ⁽¹²⁾

2. Lograr flujos eficientes ⁽¹²⁾

En la segunda etapa se busca repartir el trabajo de manera equitativa para obtener procesos y flujos balanceados. Dentro de las herramientas aplicables destacaremos el tren de actividades, que será aplicado en nuestro proyecto de estudio:

- **Tren de actividades**

A raíz de la sectorización del área de trabajo, el tren de actividades propone la ejecución de dichos trabajos en forma de una secuencia lineal de actividades.

Luego de la ejecución de las actividades propuestas en las herramientas LPDS lograremos que el flujo sea también simétrico.

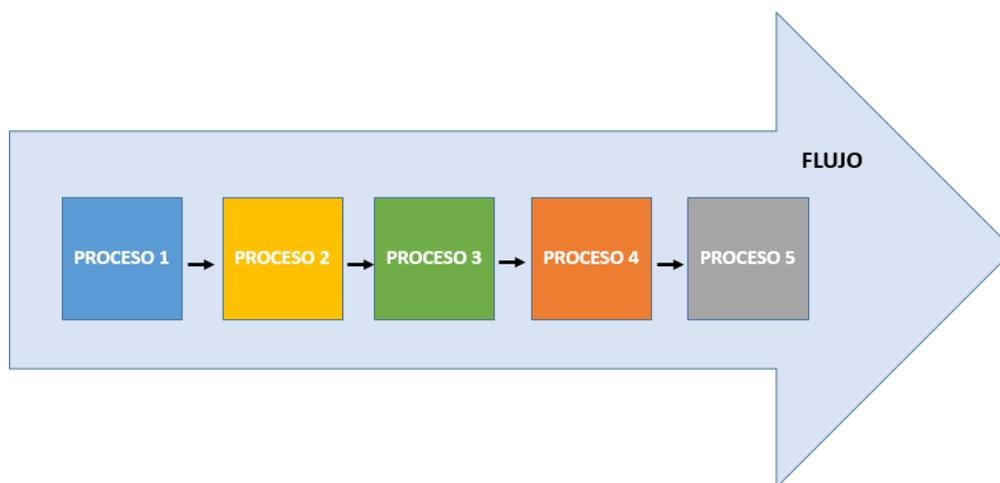


Figura 7: Modelo de flujo con flujos eficientes. Fuente: Capítulo Peruano LCI ⁽¹²⁾

3. Lograr procesos eficientes ⁽¹²⁾

La etapa final consiste en la optimización de los procesos, mediante la aplicación de las herramientas propuestas por la filosofía Lean. Dentro de las herramientas mencionaremos las cartas de balance, que fueron aplicadas en el proyecto de estudio.

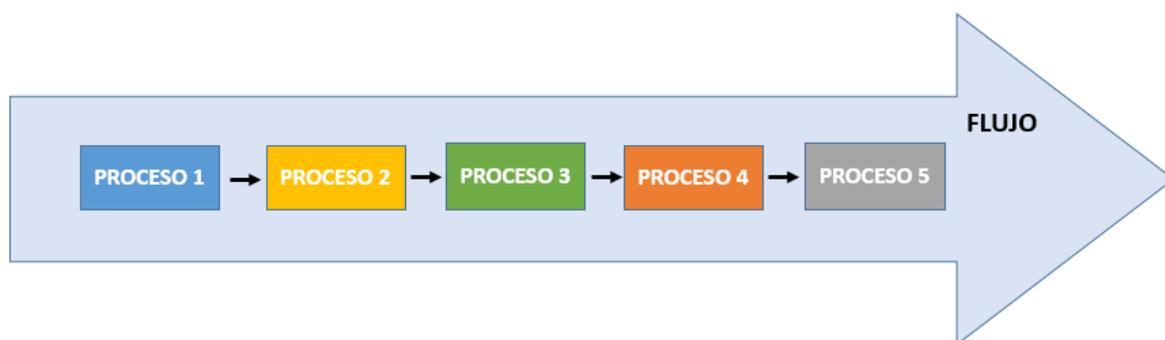


Figura 8: Modelo de flujo con procesos eficientes. Fuente: Capítulo Peruano LCI⁽¹²⁾

Al concluir las tres etapas lo que tendremos como resultado son procesos adecuadamente dimensionados con los desperdicios eliminados o reducidos a su mínima expresión, logrando de esta forma un flujo eficiente.

2.5.4. Beneficios que aporta Lean Construction

Un informe sobre el estado de Lean en la Construcción en EE.UU. de McGraw Hill ⁽¹³⁾, sobre la aplicación de Lean Construction en proyectos de edificación revelan que en aquellas empresas que ya han utilizado prácticas Lean entre el 70% y el 85%

han alcanzado un nivel alto o medio sobre una amplia variedad de beneficios, entre los que se incluyen como resumen los indicados en la siguiente tabla:

Informe sobre el estado de <i>Lean</i> en la Construcción en EE. UU. (2012)	Informe de McGraw Hill Construction sobre la aplicación de <i>Lean Construction</i> (2013)
Mejor cumplimiento del presupuesto	Mayor calidad en la construcción.
Menor número de cambio de órdenes y pedidos	Mayor satisfacción del cliente.
Rendimiento más alto de entregas a tiempo	Mayor productividad.
Menor número de accidentes	Mejora de la seguridad.
Menor número de demandas y reclamaciones	Reducción de plazos de entrega.
Mayor entrega de valor al cliente	Mayor beneficio y reducción de costes.
Mayor grado de colaboración	Mejor gestión del riesgo.

Figura 9: Beneficios Lean. Fuente: McGraw Hill Construction ⁽¹³⁾

2.6. Lean Project Delivery System

El Lean Construction Institute (LCI) desarrolló el Lean Project Delivery System (LPDS) como una nueva y mejor metodología para desarrollar los proyectos de construcción expandiendo los conceptos Lean traídos del estudio de las teorías de producción en la industria seriada a todas las fases 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. Se emplea un equipo en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones. Se trata de un enfoque por etapas que comprende la definición del proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura. El control de la producción, la estructuración del trabajo y el aprendizaje es algo que ocurre continuamente a lo largo de todo proyecto y cada fase contiene actividades e hitos que

deben cumplirse a medida que este avanza. El propietario o cliente determina el coste permitido del proyecto, que es la cantidad máxima que el modelo de negocio puede soportar. La misión del equipo es entender y ofrecer el mejor valor para el cliente y eliminar todas las actividades que no añaden valor.

El LPDS se explica según podemos ver en la figura líneas abajo, la gestión de la producción a través del ciclo de vida del proyecto se indica mediante las barras horizontales etiquetadas como Control de la Producción y Estructuración del Trabajo. El uso sistemático de los bucles de retroalimentación entre los procesos del proveedor y el cliente se simboliza mediante las evaluaciones de post-operación, entre proyectos.

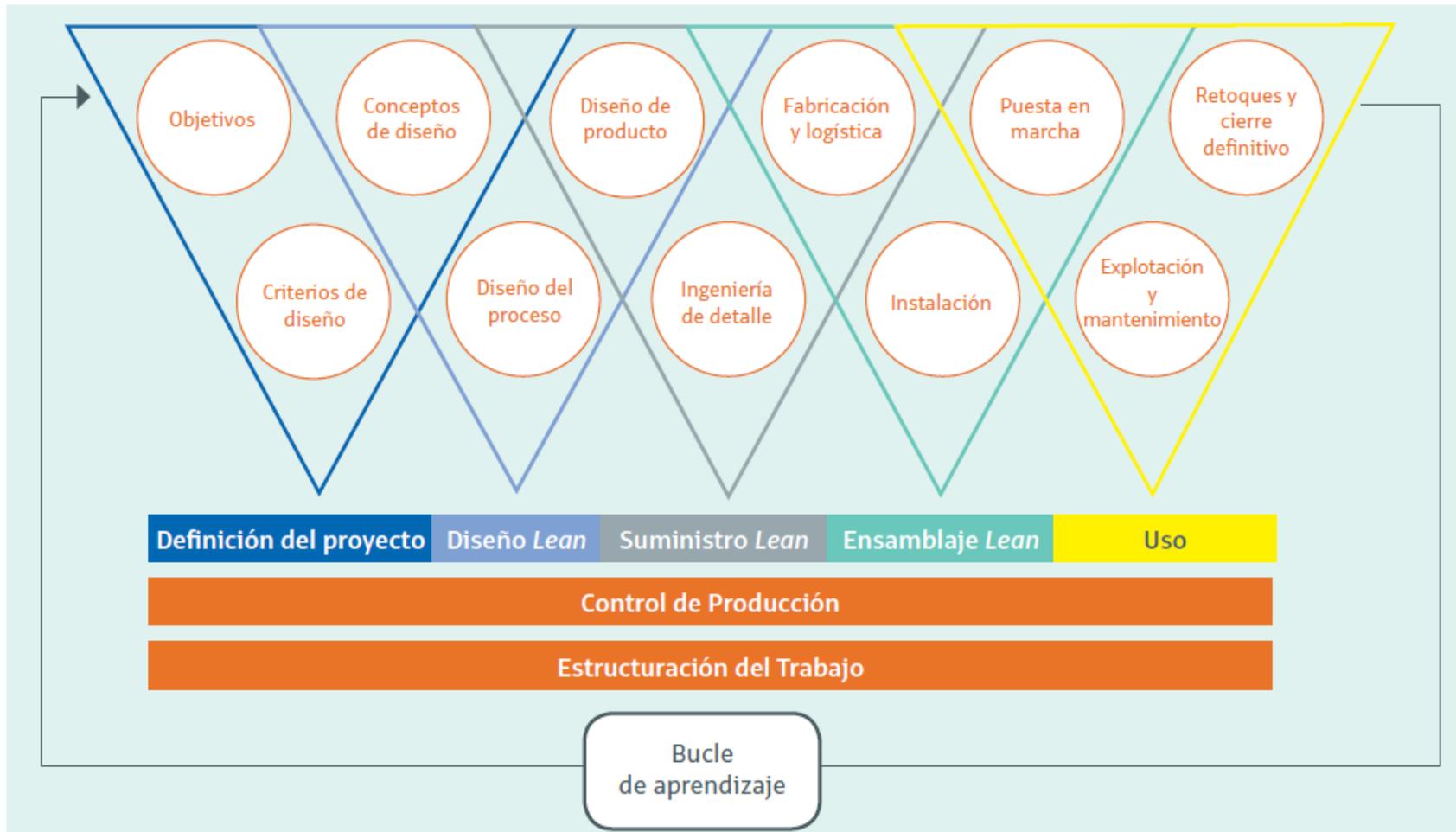


Figura 10: Lean Project Delivery System. Fuente: Glenn Ballard⁽¹⁴⁾

2.6.1. Diferentes fases de un proyecto Lean según LPDS ⁽¹⁴⁾

- **Definición del Proyecto**

En este modelo de proyecto Lean la Definición de Proyecto se representa como un proceso de alineación de acuerdos, medios y limitaciones. La alineación de criterios se logra a través de una conversación que comienza con el cliente indicando:

- Lo que quieren lograr (valor deseado)
- Las limitaciones (ubicación, coste, tiempo) sobre los medios para lograr sus fines

Se supone que el trabajo del equipo de ejecución del proyecto no es sólo para proporcionar lo que el cliente quiere, sino para ayudar primero al cliente a decidir qué es lo que ellos quieren. En consecuencia, es necesario comprender el propósito y las restricciones del cliente, exponer al cliente a medios alternativos para el cumplimiento de sus fines más allá de los que han considerado previamente, y para ayudar a los clientes a comprender las consecuencias de sus requerimientos. Este proceso cambia inevitablemente todas las variables: fines, medios y restricciones.

- **Diseño Lean**

Como vimos la definición del proyecto comienza con la planificación empresarial, procede a la validación del plan de negocios si el plan inicial parece factible y termina con la decisión del cliente de financiar o no financiar un proyecto. En la fase Diseño Lean, inicia con la aplicación del método de Presupuesto Meta, así como todos los elementos del diseño de ingeniería de detalle.

- **Abastecimiento Lean**

Esta fase incluye el desarrollo del plan logístico lo que incluye un suministro de materiales y la fijación de hitos a adoptar para estar dentro de los plazos de entrega.

- **Ejecución Lean**

Esta etapa inicia con la entrega de información, materiales, mano de obra, herramientas, o componentes necesarios para la ejecución en la obra o instalación y termina con la finalización de las instalaciones y puesta en marcha del edificio o infraestructura.

- **Uso**

Después de la entrega de la infraestructura y la puesta en marcha entramos en la fase de post-venta. Esta fase abarca desde el final de obra, pasando por las pre-entregas definidas y la entrega definitiva que da inicio a la post-venta.

2.7. Integrated Project Delivery (IPD)

El IPD es un sistema integrado de entrega de proyectos que busca alinear intereses, objetivos, y practicas renovando la organización, el sistema de operación y los términos comerciales que rigen el proyecto.

La clave del éxito es la creación de un equipo que esté comprometido con los procesos de colaboración y cuyos miembros sean capaces de trabajar juntos de manera efectiva. Las funciones que deben desempeñar los miembros del equipo IPD para lograr el éxito del proyecto son las siguientes:

- Identificar en el momento más temprano posible los roles de los participantes que son más importantes para el proyecto.
- Precalificar a los miembros (individuos y empresas) del equipo.
- Tener en cuenta los intereses comunes y buscar la participación de partes adicionales seleccionadas.

- Definir de manera mutua y comprensible los valores, intereses, metas y objetivos de los actores participantes.
- Identificar la estructura organizativa y de negocio que mejor se adapte al IPD de manera que sea coherente con las necesidades y limitaciones de los participantes. La elección no debe estar sujeta estrictamente a los métodos tradicionales de entrega de proyectos, sino que debe adaptarse de forma flexible al proyecto.
- Desarrollar acuerdos del proyecto para definir las funciones y responsabilidades de los participantes.

El sistema integrado de entrega de proyectos busca involucrar a todos los participantes de un proyecto (proyectistas, consultores, contratistas, proveedores, especialistas, etc.) para poder generar un producto con valor agregado hacia el cliente, generando ahorro para este y mayores utilidades para las empresas involucradas.

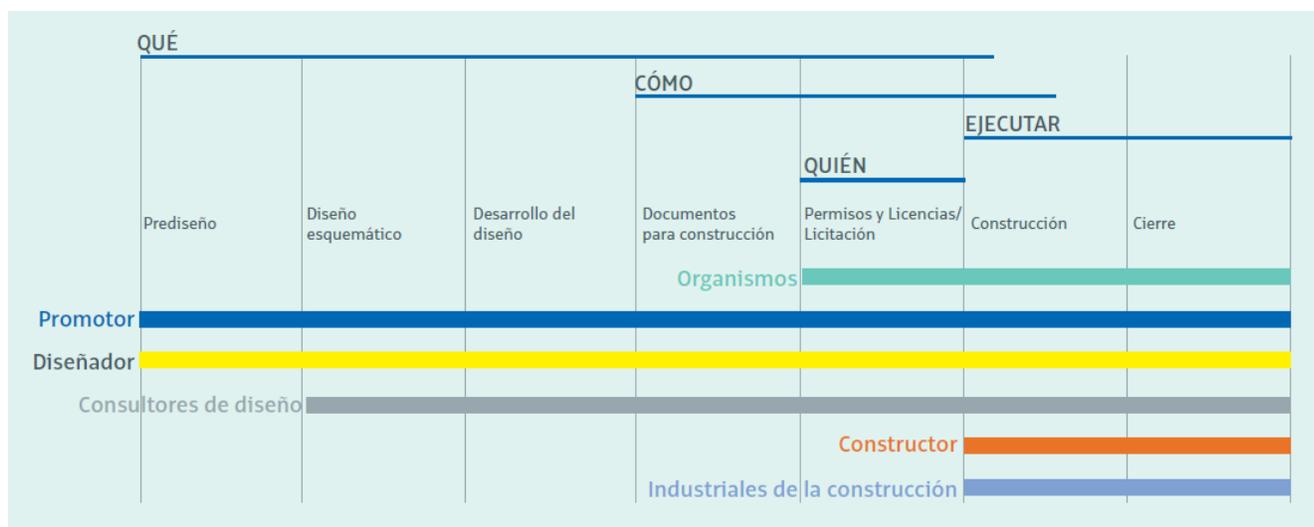


Figura 11: Proceso Tradicional del Diseño. Fuente: IPD ⁽¹⁵⁾

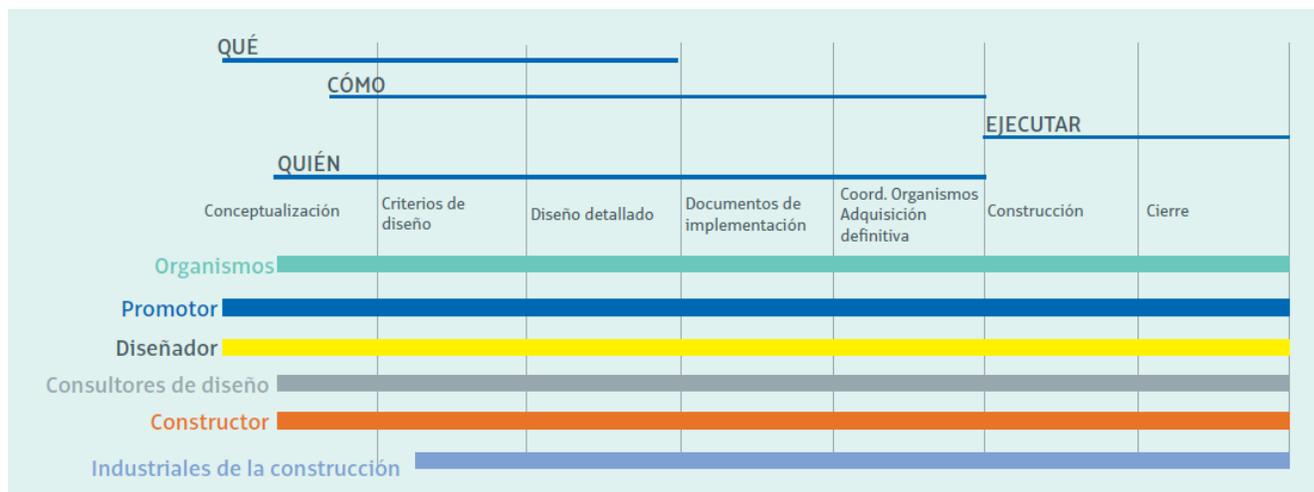


Figura 12: Proceso Integrado del Diseño. Fuente: IPD ⁽¹⁵⁾

Como se aprecia en las imágenes, la metodología convencional por muestra que cada participante del proyecto participa únicamente de las etapas en las que tiene acción directa sin poder hacer un cambio que agregue valor significativo al proyecto, ya que mientras más avanzado esta es más complicado que un cambio de aplique. Mientras que el Integrated Project Delivery (IPD) propone que desde la etapa de la conceptualización del proyecto se tenga la participación de los involucrados (Organismos, Promotor, Projectistas, consultores y constructores) para generar un producto con valor agregado no solo para el cliente sino para todos los involucrados en el proyecto.

En el Perú aún se está conociendo esta metodología, pero debido a la forma en que se maneja la construcción en el país es poco probable que se llegue a aplicar a gran escala.

2.8. Last Planner System

2.8.1. Definición de LPS

El Last Planner o último planificador, normalmente el capataz, encargado o jefe de obra, se define como la última persona capaz de asegurar un flujo de trabajo predecible aguas abajo. LPS faculta al último planificador para conseguir compromisos de entrega en base a la situación real de un puesto de trabajo, en lugar de hacerlo en base a los planes teóricos. Se trata de un sistema Pull en lugar de un sistema Push porque es la actividad aguas abajo en la cadena o flujo de valor la que marca el ritmo y tira de la demanda y no a la inversa como ocurre en el sistema tradicional, en el que las actividades aguas arriba empujan la producción hacia las actividades aguas abajo, generando cuellos de botella, exceso de inventario y esperas, entre otros desperdicios. El plan de trabajo normalmente se realiza y mantiene en una sala de reuniones, que suele ser una habitación, espacio o caseta habilitada para ello, instalada lo más cerca posible de la obra o lugar de trabajo, donde se ubica el equipo de trabajo.

Cuando el flujo de trabajo se hace más previsible, las obras se organizan mejor, las reuniones son más cortas, las disputas son menores y los cuellos de botella y las interrupciones en el flujo de trabajo se hacen más evidentes. Las decisiones se toman por consenso y los miembros del equipo deben ponerse de acuerdo en la relación existente entre las actividades, su secuencia y el tiempo de ejecución. Además, los

miembros del equipo han de asegurarse de que tienen los recursos y el tiempo suficiente para completar los trabajos.

2.8.2. Origen de LPS

El LPS como filosofía, provee un conjunto de procedimientos y herramientas para reducir la variabilidad y la incertidumbre en la construcción, en donde se parte de lo que se “DEBERIA” hacer; se da especial importancia a lo que se “PUEDE” hacer y finalmente se llega al hacer o a lo que realmente se hará, en contraposición a la planificación tradicional en donde se parte de igual forma del “DEBERÍA” pasa directamente al “HACER” y en el proceso se encuentra que ese hacer se ve limitado por lo que realmente se “PUEDE” ejecutar, generando interrupciones, reprocesos y/o demoras que afectan el cumplimiento de la programación. En las figuras abajo se ilustran estos conceptos.

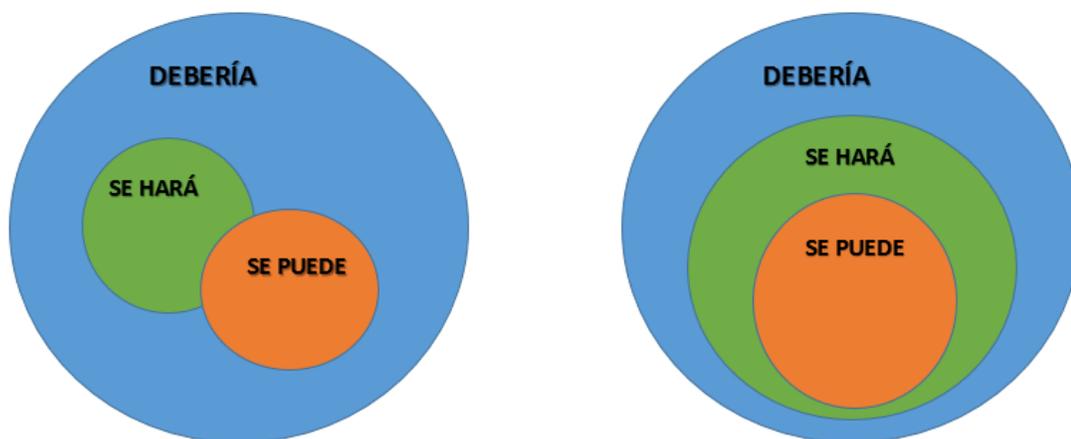


Figura 13: Filosofía de planificación según método tradicional (izquierda), Filosofía de planificación según método Lean (derecha). Fuente: Elaboración Propia

Así pues, LPS se define como un método de control de producción diseñado para integrar “lo que debería hacerse” – “lo que se puede hacer” – “lo que se hará” – “lo que se hizo realmente” de la planificación y asignación de tareas de un proyecto. Su objetivo es entregar flujo de trabajo fiable y aprendizaje rápido.

LPS es un sistema colaborativo y está basado en el compromiso. Al contar con un enfoque sobre el conjunto general de todo el proyecto, LPS crea un sistema que garantiza que cada semana la gente está cumpliendo sus compromisos del plan semanal; esta consistencia permite la eliminación del programa de relleno, planes de contingencia, exceso de inventarios y otras actividades que no añaden valor.

Cuando los flujos de trabajo son más predecibles, los subcontratistas podrán tomar ventaja del montaje fuera de la obra, donde los subconjuntos se producirán y ensamblarán en un entorno controlado. Esto, generalmente lleva a conjuntos de mayor calidad, menor coste y menor tiempo de instalación en el lugar de trabajo. Otro de los beneficios de la estabilidad es que los proyectos terminen a tiempo; al no extenderse, se ahorrarán miles de soles a la semana en el coste de equipos, maquinaria, alquileres, mano de obra y otros recursos para mantener el sitio de trabajo activo.

El LPS es un sistema de planificación y control de la producción que involucra cuatro procesos: programa maestro, programa intermedio, análisis de restricciones y el programa semanal.



Figura 14: Modelo general de Planificación del Proyecto usando LPS. Fuente: Glenn Ballard⁽¹⁴⁾

2.8.3. Componentes del LPS

El sistema de control de producción del último planificador tiene tres componentes:

- **Planificación anticipada**

La norma que rige el análisis de las restricciones es que no se autorice ninguna actividad a la fecha prevista a menos que los planificadores estén seguros de que las restricciones se pueden eliminar a tiempo. Siguiendo esta regla se asegura el hecho de que los problemas saldrán a la superficie más pronto y aquellos que no puedan resolverse en la planificación no se impondrán en la ejecución del proyecto, ya sea a nivel de diseño, fabricación o construcción.

- **Compromiso con la planificación**

Los compromisos se miden con el Porcentaje del Plan Completado (PPC), un indicador clave que evalúa si el trabajo se completó según lo prometido o no. El PPC rinde cuentas sobre el rendimiento de la ejecución del proyecto así como la identificación de lecciones de mejora y oportunidades de aprendizaje. Esas lecciones se utilizan para mejorar las prácticas de trabajo, procesos y sistemas. Los proyectos con LPS han demostrado una fiabilidad de planificación del 85%, que se compara con los proyectos tradicionales, donde es de alrededor del 50%.

El último planificador considera los criterios de calidad antes de comprometer a los trabajadores a hacer el trabajo con el fin de protegerlos de la incertidumbre. En Toyota se aplica la regla de Taiichi Ohno: “En Toyota, todo trabajador tiene el deber de parar la línea de producción en lugar de lanzar una pieza defectuosa aguas abajo”. Decir “No” era (y sigue siendo) un acto radical en la construcción. Uno de los cambios de comportamiento que conlleva LPS es la capacidad de decir “no” si el pre-requisito de la tarea o asignación no está completo.

- **Aprendizaje**

Cada semana, el plan de trabajo de la semana anterior es revisado para determinar qué tareas (compromisos) se completaron. Si el compromiso no se ha mantenido, a continuación se proporciona una razón. Estas razones son analizadas periódicamente hasta la causa raíz y se llevan a cabo acciones para evitar que se repitan. Cualquiera que sea la causa, la monitorización continua de las razones para el fracaso del plan, medirá la efectividad de las acciones correctivas.

2.8.4. Pull vs Push

La construcción ha sido tradicionalmente un sistema Push, es decir, se programan las actividades de adelante hacia atrás, y unas “empujan” a otras para cumplir los plazos y conseguir los objetivos. Por el contrario, Last Planner System se basa en un sistema Pull, donde la programación se realiza de atrás hacia adelante. La ventaja de este sistema es que las actividades se iniciarán cuando realmente sea necesario y se conseguirá ver con anticipación posibles conflictos entre actividades.

2.8.5. Niveles de Programación

- **Programa Maestro (Master Schedule)**

El Programa Maestro, es el conjunto de actividades, o tareas que deberían hacerse, en un período de tiempo o plazo de ejecución determinado y ésta conformado por todas y cada una de las actividades del proyecto; es lo que comúnmente se conoce como cronograma de obra o programación de obra, integrado por un esquema detallado de trabajo, también conocido como EDT, en donde se agrupan y subdividen las tareas en fases, se muestran las secuencias de trabajo, estableciendo las dependencias entre tareas, así como las holguras, los hitos para determinar plazos de entregas parciales en el caso de aquellos proyectos en que son aplicables y, la asignación de los recursos físicos y materiales necesarios para la ejecución de los trabajos.

Para la presentación de este programa se usan software específicos que facilitan la organización y visualización de la información, permitiendo además generar informes de control y seguimiento; entre los que se destacan programas como Microsoft Project, Primavera Project Planning, Vico Control, entre otros; los cuales han evolucionado y presentan cada vez más herramientas de control y utilidades en sus diferentes versiones.

- **Programa de Fase**

El programa de fase es el segundo nivel de planificación y se hace necesario cuando los proyectos son largos y complejos, consiste en una subdivisión del programa maestro, para dar cumplimiento a los hitos establecidos en éste, los cuales se establecen en algunos casos, sobre todo cuando se hace entrega de trabajos por etapas o fases.

- **Programa Intermedio (Lookahead Plan)**

Corresponde al segundo nivel de la jerarquía en la planificación, y le sigue a la planificación inicial, es desarrollada con el fin controlar los flujos de trabajo y cumple la función de señalar lo que se DEBERÍA HACER en un futuro cercano.

Se definen como funciones del proceso “Lookahead” las siguientes:

- Formular la secuencia del flujo de trabajo.
- Ajustar el flujo de trabajo y su capacidad.
- Descomponer las actividades del Programa Maestro en paquetes de programas y operaciones.

- Desarrollar métodos detallados para la ejecución del trabajo.
- Mantener un inventario de trabajo ejecutable.
- Actualizar y revisar los programas del nivel superior.

Para llevar a cabo el ejercicio de las funciones anteriores se definen las asignaciones para cada actividad, se hace el análisis de restricciones, lo cual lleva en esa mirada hacia delante (lookahead) para determinar las asignaciones semanales que son aquellas tareas que se consideran podrán ser realizadas en el siguiente nivel de planificación que es la programación semanal.

El intervalo o período de tiempo que abarca la programación intermedia en el proceso “lookahead” va de un número de 3 a 12 semanas, el cual está determinado por las características del proyecto y la decisión del equipo de trabajo.

La razón de ser e importancia de la programación intermedia radica en que es allí donde se identifican las tareas o actividades que realmente pueden hacerse, así como las restricciones que en su momento pueden llevar a atrasos en la ejecución del proyecto.

La programación intermedia es una mirada hacia adelante en una ventana de tiempo en donde las asignaciones son sometidas a un análisis que va abriendo paso hacia la ejecución, en la medida que va viabilizando la realización de las actividades y generando las alertas tempranas de esos elementos que podrían interferir en el desarrollo normal de las tareas, con el fin de contrarrestarlas y tomar las medidas necesarias para evitar atrasos en la programación, siendo esto lo contrario a la costumbre arraigada donde se piensa que “ en el camino se van ajustando las cargas” que no es más que cerrar los ojos a lo previsible y simplemente se traduce en esperar

a que el problema aparezca para hallar su solución con las consecuencias que por lo general son desfavorables e impactan el costo y los rendimientos de los trabajos.

- **Análisis de Restricciones**

Una vez se identifican las asignaciones o tareas en la programación intermedia, éstas son sometidas al análisis de restricciones, que constituye en la identificación de las limitaciones que de no ser superadas imposibilitan la ejecución de las tareas, y que pueden estar determinadas por insuficiencia en los diseños o falta de detalles, permisos y trámites legales, prerequisites o predecesoras, disponibilidad de recursos materiales, de trabajo y/o económicos, y en general aquellas que son particulares o específicas dependiendo del proyecto.

Al establecer las restricciones para cada una de las asignaciones, se determina el estado de la actividad el cual resulta de la posibilidad de eliminar estas restricciones antes del comienzo programado de la actividad, lo cual permite controlar el flujo de trabajo, teniendo en cuenta que podrían presentarse actividades que pese a estar programadas no pudieran ejecutarse o iniciarse en el tiempo previsto.

El análisis de restricciones se realiza de manera continua, es decir semanalmente cada vez que se actualiza la programación intermedia, en el intervalo o ventana de tiempo definido.

El análisis de restricciones exige la gestión por parte de los proveedores de bienes y servicios y proporciona al coordinador una alerta temprana de los problemas con el tiempo suficiente para planificar.

Sin embargo no basta con realizar el análisis de restricciones determinar el estado de la actividad frente a éstas, sino que se hace necesario dar un paso adelante en lo que se denomina la preparación de las restricciones que es el punto donde se toman las acciones necesarias para eliminar las restricciones o limitaciones de las actividades, para que así puedan comenzar en el momento determinado.

La preparación de las restricciones es fundamental ya que permite visualizar el estado de las restricciones y su eliminación, lo cual permitirá la liberación de las actividades o la reprogramación del flujo de trabajo en los casos donde ciertas externalidades impidan la eliminación de estas restricciones en el tiempo requerido.

Las actividades con alta probabilidad de ejecución, cuyas restricciones hayan sido eliminadas constituyen el denominado inventario de trabajo ejecutable (ITE), y son las que finalmente conformaran el programa semanal.

- **Programa Semanal (Weekly Plan)**

El programa semanal está conformado por el conjunto de actividades que se harán la semana siguiente y está condicionada por el cumplimiento de las metas fijadas la semana anterior, las tareas previstas en el programa intermedio y el análisis de restricciones. Las actividades relacionadas en el programa semanal hacen parte del inventario de trabajo ejecutable, de lo contrario se tendrían actividades que por tener restricciones aún sin ser liberadas podrían alterar el flujo de trabajo y generar el incumplimiento de las asignaciones.

La programación semanal es realizada por los últimos planificadores que son aquellos responsables de la ejecución de las actividades; de lo contrario se

convertirá en un plan o escrito más de un sistema de planificación o un sistema de calidad en donde se hacen las cosas simplemente por un requisito y no por su funcionalidad.

2.9. Definición de términos

2.9.1. Productividad

La productividad es una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.

La forma más universal de definirla es:

“Productividad es la relación entre la cantidad de bienes o servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados”

Esta forma se traduce y concreta en la siguiente fórmula:

$$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas} = \frac{Output}{Input} = \frac{Producción}{Insumos}$$

Es de anotar que la calidad de las salidas y entradas es un factor preponderante para que el resultado obtenido sea real, por ejemplo, si las unidades que salen de la organización o las que entran (insumos), incluyen defectos, esto afectará el valor de la productividad incrementándola o reduciéndola significativamente.

Según el estudio de Serpell ⁽¹⁶⁾ sobre la ocupación del tiempo de los trabajadores en la construcción consideró que los trabajadores realizan tres tipos de actividades:

- **Trabajo Productivo (TP)**

Aquel trabajo que aporta directamente a la construcción, con actividades tales como: izaje, fabricación, montaje, desmontaje, acabados, armado, etc.

- **Trabajo Contributorio (TC)**

Aquel trabajo que debe ser realizado para que pueda existir el trabajo productivo, entre cuyas actividades están las siguientes: discusiones de consulta, de planificación o de chequeo, trazado y medición, ajuste y/o reparación de herramientas y equipos, retiro de desmonte, etc.

- **Trabajo No Contributivo (TNC)**

Aquel tiempo en que el trabajador no aporta en ningún sentido a la ejecución de la obra y que incluye actividades tales como: detenciones por falta de materiales y/o equipos o por falta de proyecto, ocio innecesario, reconstrucción de trabajos mal hechos, traslados más de 10 metros del lugar del trabajo, etc.

En la estructura del modelo de la LPDS, como pudimos ver se tiene una fase que se lleva a cabo a todo lo largo del proyecto, siendo uno de ellos el de Control de la Producción, con el cual aseguramos que lo que se planifica se llegue a ejecutar teniendo la menor desviación de la planificación inicial.

2.9.2. Variabilidad

Definimos la variabilidad como la ocurrencia de eventos distintos a los previstos por efectos internos o externos al sistema. Es una realidad en los procesos constructivos y está presente en todos los proyectos y se incrementa con la complejidad y velocidad de los mismos.

Es decir, sabemos que pueden ocurrir pero no sabemos con exactitud cuándo. No tomarla en cuenta hace que se incremente significativamente y su impacto sea mayor en el sistema de producción. Se considera como un problema de importancia en la construcción debido a la cantidad de actividades existentes en una programación promedio. Por estadística encontramos que la confiabilidad de una actividad predecesora es de 95%, pero al tener muchas actividades predecesoras el porcentaje va disminuyendo progresivamente como se ve en el cuadro a continuación.

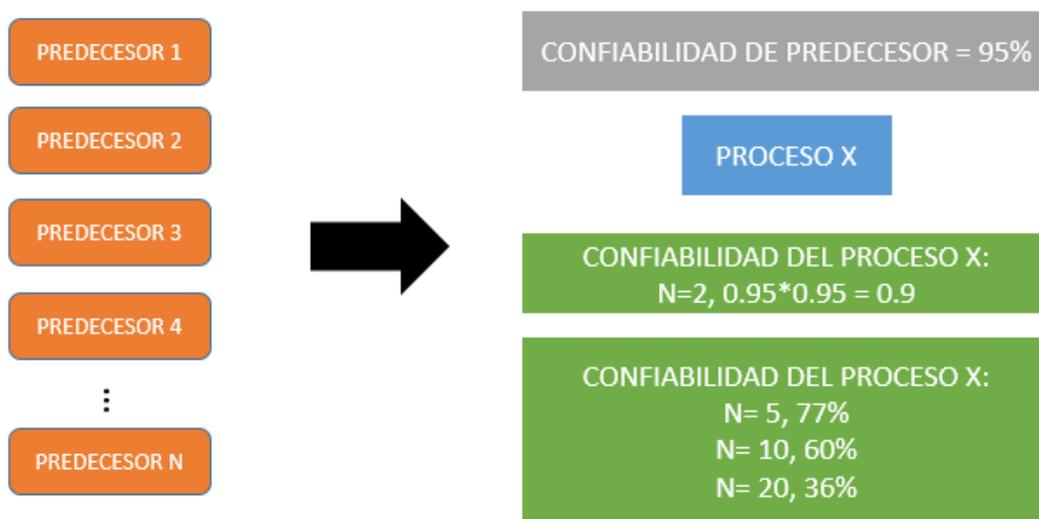


Figura 15: Porcentajes de actividades predecesoras. Fuente: Capítulo Peruano LCI ⁽¹²⁾

La Variabilidad constituye la principal fuente de desperdicio en la construcción. La filosofía Lean va a proponer una serie de herramientas que permitan contrarrestar la variabilidad, cuya primera fase incluye el disminuirla hasta obtener una variabilidad mínima, en la segunda fase deben identificarse las herramientas aplicables para el control del impacto generado por la variabilidad mínima.

2.9.3. Curva de aprendizaje

T.P. Wright realiza un estudio en 1936 donde aparece por primera vez esta terminología. En el caso de estudio se realizó el análisis para los tiempos requeridos para hacer piezas de aviones, se observó que a medida que el trabajo se realiza los trabajadores van adquiriendo mayor experiencia y por ende el tiempo de ejecución del trabajo se reduce.

La relación entre el porcentaje de aprendizaje y la disminución de tiempos en el trabajo asignado, nos dice que cuando una persona haga el trabajo el doble de veces ($2n$) el tiempo de ejecución se verá reducido al porcentaje de aprendizaje, a continuación se presenta la tabla con resultados del experimento elaborado por T.P.Wright, 1936⁽²¹⁾.

Tiempo requerido para hacer partes de avión

# Repetición	Und Tiempo	Ratio T_n/T_1	Ratio $T_n/T_{n/2}$
1	10		
2	8	0.80	0.8
3	7	0.70	
4	6.4	0.64	0.8
5	6	0.60	
6	5.6	0.56	0.8
7	5.3	0.53	
8	5.1	0.51	0.8

Figura 16: Tiempo requerido para fabricación de partes de avión Fuente: Curve Learning⁽²¹⁾

Estos datos se expresan en un gráfico que muestra la reducción del tiempo de

2.9.4. Tren de actividades

Es una metodología que nace de las líneas de producción en las fábricas, en las cuales el producto avanza a lo largo de varias estaciones transformándose en cada una de ellas. Para el caso de la construcción que no es una industria automatizada como las fábricas y no se tiene la posibilidad de mover el producto a lo largo de varias estaciones se creó el concepto de tren de actividades, según el cual las cuadrillas de trabajo van avanzando unos tras otros a través de los sectores establecidos anteriormente en el proceso de sectorización, con esto se pretende tener un proceso continuo y ordenado de trabajo, además de poder identificar fácilmente los avances a través de la ubicación de las cuadrillas en un sector determinado.⁽²¹⁾

2.9.5. Buffers

Los buffers son mecanismos que nos permiten absorber las fluctuaciones y variaciones en el sistema de producción. En ciertas circunstancias, pueden ayudarnos a incrementar el rendimiento, pero si no están bien analizados en otros casos puede reducirlo (exceso de buffers). Debe evitarse el utilizar sólo la intuición o aproximaciones informales, debemos diseñar, controlar y monitorear los buffers en los proyectos.

Se traduce “Buffer” como colchón o amortiguador, se define como alternativa para contrarrestar los efectos negativos de la variabilidad en la construcción. ⁽²¹⁾

Según César Guzmán ⁽¹²⁾, algunos Buffers vistos comúnmente son:

- Inventario de Materiales
- Planear con jornadas de 8 horas y trabajar con jornadas de 10 horas
- Equipos en Stand By
- Iniciar antes el Proyecto
- Planos aprobados adelantadamente

Formalmente, son tres los tipos de Buffer:

- **Buffer de Inventario:** Al tener una cantidad mayor a la necesaria de materiales y/o equipos para evitar que el flujo se detenga ante la falla en la entrega de algún recurso.

- **Buffer de Tiempo:** Generación del colchón de tiempo para el proyecto que se pueda usar en el caso de que haya complicaciones. Usualmente dejar el día sábado como un Buffer.

- **Buffer de Capacidad:** Partidas no críticas de la obra que se dejan de programar o realizar para que se ejecuten de acuerdo a la necesidad en campo

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Lean Project Delivery System – LPDS

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

En la tesis, solo nos centraremos en la etapa de construcción, es decir la etapa de “Ensamblaje Lean” y las herramientas que se usarán para el control de la producción son las siguientes:

3.1.1. First Run Studies (Planear, hacer, chequear, actuar)

El Instituto de la Construcción Lean propone el uso de los First Run Studies o Análisis de Primera Ejecución, el cual es el análisis detallado de un proceso constructivo, llevando a cabo una práctica del proceso constructivo que se va a realizar, con el fin de entender claramente el proceso constructivo y determinar si es posible mejorarlo, obtener ratios reales que se van a obtener en el proyecto durante la ejecución del proceso, recursos (mano de obra, herramientas, equipos, etc.) necesarios, entre otros.

El objetivo principal es establecer la productividad meta e identificar todas las restricciones determinadas para dicha actividad.

3.1.1.1. Plan

Planear involucra elegir una actividad de estudio con la meta de estandarizar el trabajo y eliminar el desperdicio. Este proceso tiene los siguientes pasos:

- Decidir qué actividad estudiar (idealmente la actividad es repetitiva o es de alto riesgo para el proyecto)
- Definir a las personas correctas que harán el trabajo, quienes proveerán input o impacto
- Lluvia de ideas para definir cuál será el método de trabajo más efectivo para la actividad seleccionada
- Plan de seguridad, calidad y productividad
- Asignar labores, herramientas, equipos y recursos

3.1.1.2. Hacer

Este paso involucra poner el plan en acción. Mientras la actividad se realiza se debe monitorear la actividad. No es necesario monitorear las 8 horas de la jornada, sólo debemos asegurarnos que se monitoree ciclos completos de actividades, lo cual varía de acuerdo a la actividad que se estudiará.

3.1.1.3. Chequear

Las personas haciendo el trabajo conocen las pérdidas en el proceso y probablemente conocen la mejor manera de mejorarlo. En el formato se dividen en 4 categorías: Actividad que agrega valor, actividad necesaria pero que no agrega valor y actividad que no agrega valor. Se monitorea cada minuto determinando a que actividad pertenece.

3.1.1.4. Actuar

Reuniendo las ideas del grupo que ejecutó el trabajo se diseñan un método de trabajo que se convertirá en el nuevo estándar. Esta es una de las mejores maneras de introducir innovación en el proyecto, involucrando a los trabajadores que ejecutaron las actividades. Una vez que ven que los trabajadores sepan que son parte esencial en el diseño de métodos, resolución de problemas y de conseguir mejoras en el proyecto, se involucrarán más y compartirán ideas.

3.1.2. Curvas de Productividad

La curva de productividad es una gráfica que permite observar de manera más clara los resultados que arroja el I.S.P. Se realiza una curva de productividad por partida. Por ejemplo, La curva de productividad de encofrado de losa, o curva de productividad de vaciado de muros. En el eje de las abscisas se coloca los días y en el eje de las ordenadas se coloca los rendimientos obtenidos en cada día.

La fórmula del rendimiento es el siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Horas Hombre Empleadas}}{\text{Avance por partida}}$$

De acuerdo a la forma del gráfico obtenido podremos decir si la producción está mejorando o emporando y hay que empezar a realizar un seguimiento riguroso de dicha actividad.

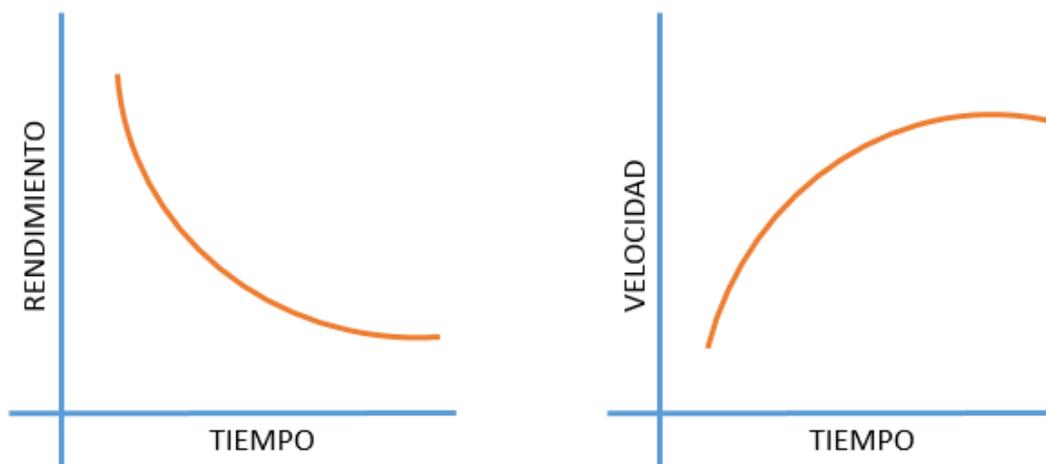


Figura 17: Curvas de productividad en disminución. Fuente: Koskela ⁽¹¹⁾

Tener en consideración:

- Para un mejor análisis se recomienda usar 3 curvas: curva de rendimiento diario, curva de rendimiento del presupuesto y curva de rendimiento acumulado. A nosotros nos va a importar que la curva del rendimiento acumulado este por debajo del rendimiento del presupuesto debido a que esto significara que no nos estamos excediendo de los recursos que teníamos destinados inicialmente.
- La curva de productividad también se usar mostrando la velocidad (en vez del rendimiento) que van teniendo la cuadrilla día a día
- Cuando la actividad en estudio tiene muchos días en la cual está siendo realizada, se recomienda pasar la unidad de tiempo en las abscisas de día a semanas, así el gráfico se hace más fácil de mostrar, leer e interpretar

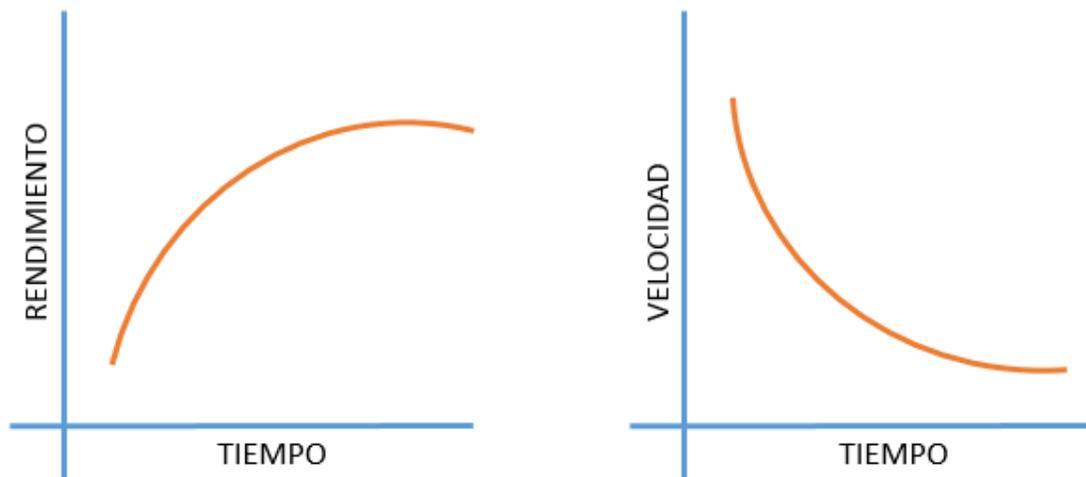


Figura 18: Curvas de productividad en mejora Fuente: Lauri Koskela ⁽¹¹⁾

3.1.3. Presupuesto de Obra

Para poder completar el Informe Semanal de Producción (I.S.P) se debe usar algunos datos obtenidos del presupuesto de obra, haciendo de este una especie de herramienta indirecta. El presupuesto de obra se usa para completar en el I.S.P. las columnas que indican el metrado y las horas hombre requeridas para cada actividad.

3.1.4. Sectorización

Es una división de la zona de trabajo en partes iguales. Se divide el plano en partes iguales donde cada una de las partes se le denomina sector o frente y será el avance diario para cada una de las actividades.

3.1.5. Carta Balance

La Carta Balance es una herramienta que a partir de datos estadísticos, describe de forma detallada el proceso de una actividad para así buscar su optimización. En una Carta Balance se toma un intervalo de tiempo corto (cada uno o dos minutos) la actividad que está realizando cada obrero. Estas actividades son divididas en los tres tipos de trabajo TP, TC y TNC. Más adelante se mostrará el formato para llenar una Carta Balance en el cual el intervalo corto de tiempo corresponde a un minuto.

3.1.6. Informe semanal de producción (I.S.P)

Junto con las actividades diarias a realizar se entrega al capataz una relación con todos los integrantes de su cuadrilla, para cada trabajador deberá escribir la actividad que han estado realizando, y las horas que le ha tomado realizar dicha actividad. Cabe mencionar también, que para tener un mayor control de la cuadrilla se entrega el tareo llenado con valores teóricos de avance de actividad, vale decir metrado. El capataz colocara a un costado los valores reales en campo. Estos cambios son normalmente aceptados, debido a la gran variabilidad que siempre hay en actividades de construcción.

3.1.7. Control de Calidad

Se deben archivar los documentos que contemplan el aseguramiento y control de calidad de los principales componentes de la obra. En el caso del concreto, se dispone de una tabla interactiva donde se hace el seguimiento de la rotura de probetas, proyectando resultados a 28 días y generando alertas en caso de que las resistencias estén por debajo de la de diseño. Para los demás controles, se cuenta con un protocolo de liberación para cada elemento vaciado, el cual es archivado para ser incluido en el dossier final que se entrega a cliente.

3.2. Last Planner System – LPS

3.2.1. Programación Maestra

Esta programación marca los hitos de la programación de la obra. Por lo cual no debe ser una programación muy detallada. En algunas empresas aún se usa el diagrama de Gantt que muestra un cronograma muy detallado de las actividades que se van a realizar día a día desde el día que se empieza las obras provisionales hasta la entrega final del último departamento del proyecto. Pero debido a la gran variabilidad que hay en obra, muchas veces este diagrama al final de la obra termina siendo un papel colgado en la oficina que nadie toma en cuenta para programar. Es por eso que la programación maestra no debe ser muy detallada, sino más bien marcar fechas tentativas como comienzo de excavación, fin del casco, etc. El Dr. Glenn Ballard mencionó lo siguiente: “todos los planeamientos son pronósticos, y todos los pronósticos están errados. Mientras más larga la predicción, mas errada estará. Mientras más detallada la predicción, mas errada estará”⁽¹⁸⁾

3.2.2. Lookahead

Es un cronograma de ejecución a mediano plazo (suele estar entre 3 a 6 semanas). Se parte de la programación maestra, haciendo algunos cambios al cronograma debido a que el lookahead es mucho más detallado.

3.2.3. Programación Semanal

Es un cronograma tentativo donde se muestra las actividades que se van a realizar en la semana. Se supone que todas las actividades mostradas no deben de tener restricciones para su realización. Para realizar la programación semanal se debe tener en cuenta la programación de las siguientes cuatro semanas (lookahead).

3.2.4. Programación Diaria

Conocido como el tareo, es un documento que se entrega todos los días al responsable de cada cuadrilla. Dicho documento muestra en forma clara las actividades a realizar durante el día, la idea es formalizar el pedido del ingeniero de campo en cuanto a las actividades a realizar. En algunas empresas el documento entregado al capataz para realizar las labores diarias tiendan más a confundirlo, por lo tanto se debería tratar de que el documento sea lo más claro posible (con gráficos y colores) para ayudar a reforzar lo dicho por el ingeniero de producción, mas no contradecirlo o confundir más a la persona que recibe el tareo. La idea de presentar un documento claro y sencillo busca la minimización de iteraciones negativa.

Para realizar la programación diaria se debe tener en cuenta la programación semanal. Es aquí donde están incluidas actividades de “último minuto” como por ejemplo:

- Apoyo a cuadrilla de excavación por retraso imprevisto (mayor profundidad de cimentación que la esperada).

- Reparación de cerco perimétrico que fue destruido por camión de cisterna de agua.
- Simulacro de sismo en el que participe el total de trabajadores de la obra.
- Limpieza y mantenimiento de encofrado.

A manera de resumen, hasta ahora se ha mencionado herramientas únicamente de programación de obra. Primero la programación maestra que muestra hitos en la programación. Después el Lookahead, que es una programación detallada a mediano plazo y por último programación semanal y diaria que son un fragmento de el Lookahead.

3.2.5. Análisis de Restricciones

Teniendo como base el Lookahead, se hace un análisis de todas las partidas que se deberían realizar en las siguientes cuatro semanas según la programación. Hay que pensar en todo lo que se necesita para que la actividad se pueda realizar sin ninguna restricción. En el formato de análisis de restricciones se escribe también la fecha límite en la cual se tiene que levantar la restricción y el responsable o responsables de levantarla. El plazo no es necesariamente cuatro semanas, la idea es tener un tiempo de anticipación al cronograma para levantar las restricciones. El tiempo suele variar entre 3 y 6 semanas.

3.2.6. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)

Es el número total de tareas programadas completadas entre el número total de tareas programadas expresado en porcentaje. Las tareas programadas se toman del Lookahead.

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

El PPC es un análisis de confiabilidad, no busca medir el avance sino la efectividad del sistema de programación.

4. CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1. Descripción de la empresa

Graña y Montero es un grupo de 26 empresas de Servicios de Ingeniería e Infraestructura con presencia en 7 países de Latinoamérica, operaciones permanentes en Perú, Chile y Colombia y más de 29,000 colaboradores.

Graña y Montero realiza sus proyectos teniendo como base tres pilares: Producción, Calidad y Seguridad. Cada pilar toma mediciones de su especialidad para identificar y solucionar los problemas presentados en obra. Estos problemas, generados básicamente por la variabilidad en la construcción, son identificados, corregidos y transmitidos en la reunión de obra semanal a todo el staff de la obra con la finalidad de integrar a todo el equipo técnico a los principales cambios que suceden durante la obra. De esta manera se logra obtener una mejora continua.

Así también se llevan a cabo las reuniones semanales y diarias con los capataces y jefes de grupo en los diferentes frentes del proyecto, con la finalidad de comunicar el plan semanal y los objetivos a cumplir.

Su **misión** es resolver las necesidades de Servicios de Ingeniería e Infraestructura de sus clientes más allá de las obligaciones contractuales.

Su **visión** es ser reconocidos como el Grupo de servicios de Ingeniería e Infraestructura más confiable de Latinoamérica.

Estilo Graña y Montero

Desde el inicio, en el año 1933 cuando los fundadores deciden asociarse con el fin de “aunar conocimientos para realizar cualquier obra”, vemos la presencia del Estilo Graña y Montero.

Los valores de Calidad, Cumplimiento, Seriedad y Eficiencia, así como las estrategias trazadas por la organización no surgen de la casualidad ni de una perspectiva cortoplacista sino, más bien, de los principios o cimientos de una gran obra colectiva que se llama Graña y Montero. De un estilo que permite acercarse cada vez más a la visión de ser “el Grupo de servicios de ingeniería e infraestructura más confiable de Latinoamérica”.

Graña y Montero es una historia de coherencia con sus valores y compromiso con la sociedad. Siempre ha estado presente el afán permanente de ser útiles a la sociedad, trascendiendo desde la ética y el ejemplo, haciendo las cosas con un liderazgo cercano, horizontal, humilde, creando relaciones de confianza y generando y compartiendo bienestar con la sociedad desde nuestros negocios.

El Estilo Graña y Montero da cuenta de cómo se hacen las cosas pero también de por qué se hacen las cosas. El estilo de hacer las cosas es lo que la diferencia de las otras compañías y lo que ha sido la base para llegar a los 83 años de forma exitosa.

4.2. Descripción del proyecto

El Nuevo Rancho es un conjunto de edificios de departamentos ubicado en el distrito de Miraflores, Calle Incahuasi s/n, está conformado por 6 bloques denominados: Bloque 1, 2, 3, 4, 5 y 6 y un Parque Central que comunica todos los bloques. Cada bloque cuenta con 2 sótanos y 5 pisos en donde alberga un total de 113 departamentos y 226 departamentos entre flats, dúplex y tríplex con extensiones desde los 100 m² hasta 320m², estos van desde 2 hasta los 4 dormitorios y tienen acabados de primera ya que están pensados para satisfacer la demanda de la mejor zona de Miraflores y enfocados en niveles socioeconómicos altos.

En este estudio se analizará la construcción del Bloque 4 que está ubicado en un terreno de 1148.80 m², según el planeamiento inicial tiene una duración de 4 meses iniciando la construcción en diciembre del 2015 y finalizando en marzo del 2016. Este proyecto tiene un presupuesto de \$4,559,463.58 incluidos IGV y gastos generales, cuenta con aproximadamente 60 obreros y un equipo de obra de 3 personas que mostraremos en el organigrama.



Figura 19: Obra Finalizada. Fuente: Elaboración Propia

4.3. Producción de la obra

Los frentes de trabajo se realizan siguiendo una línea de producción, cada cuadrilla tiene una labor que se repite cada día, de forma repetitiva. Debido al gran volumen de la obra, las cuadrillas llegan a especializarse en su labor; esa especialización se mostrara más adelante en la curva de aprendizaje. Se programan las cuadrillas para que una esté detrás de la otra. Los obreros tienen muy en claro que un día de atraso en su trabajo genera un día de atraso de todos los trabajos que vienen detrás y por lo tanto un día de atraso en la entrega final de obra.

4.4. Organigrama

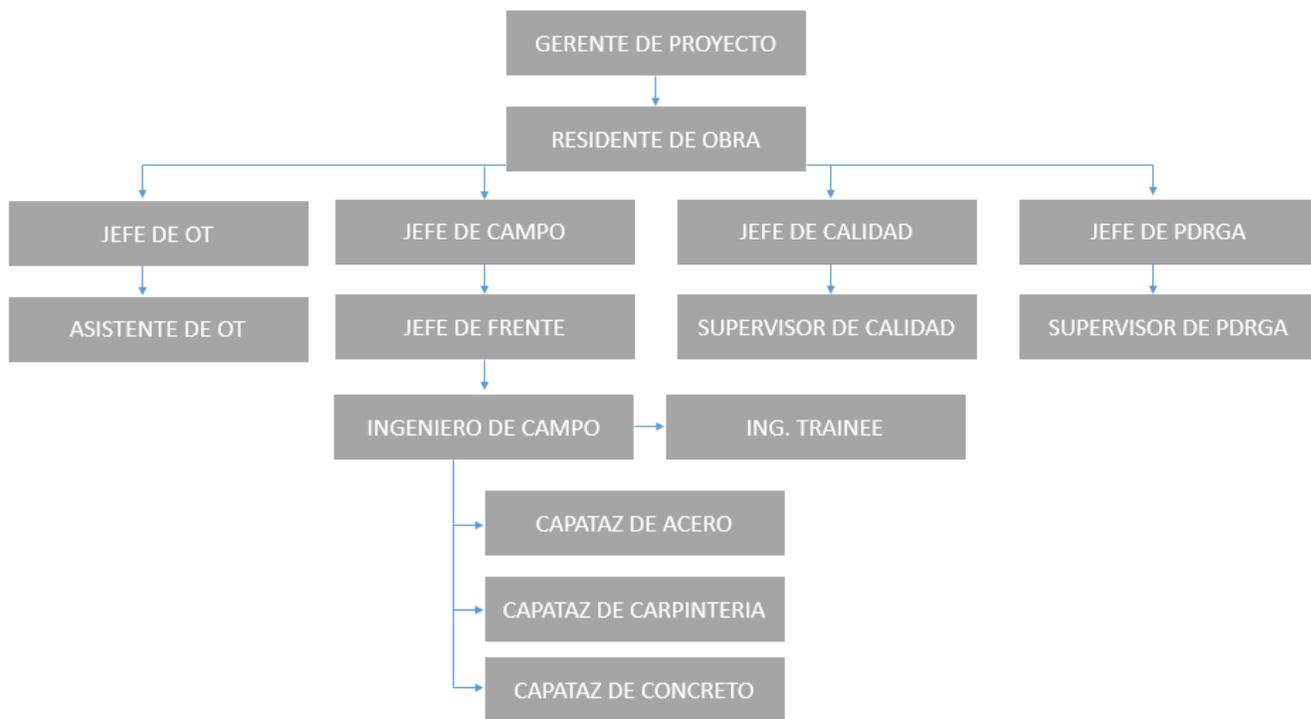


Figura 20: Organigrama de Obra. Fuente: Elaboración Propia

4.5. Equipos

Las principales tecnologías aplicadas en la obra son las siguientes:

- Encofrado de madera - ULMA
- Acero corrugado - ACEROS AREQUIPA
- Concreto premezclado - MIXERCON

4.6. Descripción ingenieril

TECHOS

Los techos son losas aligeradas prefabricadas tipo Firth de 20cm y losas macizas.

ESTRUCTURA PORTANTE DE CARGAS VERTICALES Y SÍSMICAS

La estructura portante consiste en placas de concreto armado de 15, 20 y 25cm de espesor y vigas de 15, 25 y 30 cm de espesor y 60 cm de peralte, elementos que tienen como función principal dotar al edificio de adecuada rigidez y resistencia ante cargas laterales para asegurar un buen comportamiento ante cargas sísmicas.

CIMENTACIÓN

La cimentación será a base de cimientos corridos y zapatas aisladas, según lo especificado en el estudio de suelos. La capacidad resistente del terreno se determinó en 7.00 Kg/cm².

ESPECIFICACIONES GENERALES

1. CONCRETO:

CONCRETO ARMADO EN:

ZAPATAS Y VIGAS DE CIMENTACIÓN: $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

VIGAS Y LOSAS: $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

COLUMNAS y PLACAS: $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$

ESCALERAS: $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

ELEMENTOS DE ARRIOSTRE: $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

SOLADOS: $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$

CIMIENTOS CORRIDOS: $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

2. ACERO:

ACERO: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ Grado 60

RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO EN:

ZAPATAS: 7 cm

VIGAS DE CIMENTACIÓN: 4 cm

VIGAS: 4 cm

LOSAS, VIGAS CHATAS, ESCALERAS: 2 cm

COLUMNAS: 4 cm

PLACAS: 2 cm

4.7. Cargos y responsabilidades

Todos los miembros del staff y los trabajadores de obra trabajan bajo el lineamiento jerárquico; por ello se detallará las funciones más generales de cada cargo según el siguiente organigrama:

Gerente de Proyecto

- Mantener la comunicación entre la obra y el cliente.
- Mantener y liderar las relaciones contractuales con el cliente, realizando una adecuada gestión técnica y comercial.

- Planificar, asignar recursos, definir las metas y objetivos para la ejecución del proyecto.
- Implementar los controles necesarios para minimizar desviaciones económicas de obra, haciendo su seguimiento y permanente control.
- Asegurar el cumplimiento de los objetivos planificados a través de acciones de control.

Residente de Obra

- Controlar y velar por el cumplimiento y conocimiento de los procedimientos de calidad, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.
- Programar, planificar y controlar en detalle la ejecución de la obra.
- Implementar la excelencia operacional, con el control de costos, productividad y control de pérdidas de obra, tanto propios como subcontratos.
- Cumplir y hacer cumplir los procedimientos internos de la empresa.

Jefe de Campo

- Controlar y velar por el cumplimiento y conocimiento de los procedimientos de calidad, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente en todos los frentes de trabajo
- Planificar y coordinar en detalle los recursos necesarios para el cumplimiento de los objetivos del contrato en conjunto con los jefes de frente
- Controlar los protocolos de las inspecciones, pruebas o ensayos realizados en campo en coordinación con el Área de Calidad
- Proponer, implementar y evaluar acciones correctivas, preventivas y de mejora e informar el resultado de éstas.

- Controlar las pérdidas de materiales definidas claves para la obra e informarlo a oficina técnica.
- Realizar el seguimiento al control en campo de los subcontratos.
- Colaborar con las auditorías o inspecciones, así como realizar y controlar las correcciones que le sean solicitadas.
- Realizar el seguimiento al levantamiento de observaciones de obra generadas por el cliente para la recepción final de la obra.

Jefe de Frente

- Controlar y velar por el cumplimiento y conocimiento de los procedimientos de calidad, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente en su frente de trabajo
- Planificar y coordinar en detalle los recursos necesarios para el cumplimiento de los objetivos de lo planificado
- Controlar las pérdidas de materiales definidas claves para la obra e informarlo al Jefe de Campo
- Realizar el control en campo de los subcontratos.
- Realizar el levantamiento de observaciones de obra generadas por el cliente para la recepción final de la obra.

Jefe de Oficina Técnica

- Controlar y velar por el cumplimiento y conocimiento de los procedimientos de calidad, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.
- Establecer e implementar los métodos de control del proyecto.

- Implementar y actualizar la programación y el control de avance de la obra, el control de costo de la obra, el control de pérdidas de recursos y horas hombre y el control de los subcontratos.
- Dar cumplimiento a lo solicitado en el contrato para cumplir con los aspectos comerciales y técnicos.
- Controlar el proyecto en base a su programación, chequeando recursos avances, rutas críticas y desviaciones que se presenten.
- Preparar presupuestos de trabajos adicionales o modificaciones.
- Ejecutar los metrados del proyecto y solicitar la compra de los materiales incorporados.
- Gestionar y entregar al cliente los planos As Built.
- Implementar archivo técnico.
- Emitir valorizaciones y controlar los avances financieros.

5. CAPITULO V: APLICACIÓN Y RESULTADOS

Los estudios de esta tesis están abocados en el marco de acción de la empresa Graña y Montero en su calidad de empresa constructora, por lo que la aplicación de la filosofía Lean Construction en el proyecto, que es motivo de estudio, está centrada principalmente en tres etapas del sistema lean de entrega de proyectos: construcción lean, control de la producción y trabajo estructurado.

Dentro de la fase de construcción lean se aplican las siguientes herramientas de Lean Project Delivery System:

- First Run Studies
- Curvas de Productividad
- Dimensionamiento de Cuadrillas
- Sectorización
- Nivel General de Actividad
- Carta de Balance
- Informe Semanal de Producción (ISP)
- Protocolo de Calidad

Dentro de la fase de control de producción se aplican las siguientes herramientas de Last Planner System:

- Programación Maestra
- Lookahead
- Programación Semanal

- Programación Diaria
- Análisis de Restricciones
- Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)

Finalmente dentro del trabajo estructurado se aplicó la siguiente herramienta:

- Buffers

LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM

5.1. First Run Studies

En la Obra se decidió hacer un First Run Studies para los muros anclados, puesto que se trataba de una actividad de mediano riesgo y alto costo, y se empleó un método nuevo no conocido para el equipo de obreros.

Este estudio permitió determinar los siguientes detalles:

- Modulación de Paños
- Rendimiento óptimo de personal
- Rendimiento de materiales
- Estandarizar trabajo repetitivo

5.1.1. Formato de Plan-Do-Check-Adjust (PDCA)

Se utilizó el formato de presentación en Hoja A3, que se presenta a continuación:

OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> • Estandarizar trabajo repetitivo • Rendimiento de materiales • Rendimiento de personal
METODO	<ul style="list-style-type: none"> • Perfilado Manual • Montaje de Acero • Encofrado con paneles • Contrafuerte para vaciado
PROPUESTA	<ul style="list-style-type: none"> • 3 personas en perfilado • 6 personas en colocación de acero • 6 personas en encofrado • Máquina Excavadora para colocación de contrafuerte y relleno de material
CASO DE ESTUDIO	<ul style="list-style-type: none"> • Muro Anclado 1.01



GESTION DE PROYECTOS											
CODIGO DE PROYECTO: 1034											
NOMBRE DE PROYECTO: EDIFICIO EL NUEVO RANCHO											
PACTO:											
Categoría	Actividad Productiva			Actividad No Productiva			Actividad Contributiva				
Ejemplo	Uso de herramientas, Sucesión, Relleno			Esperas, búsqueda de herramientas, trámites innecesarios			Alcance de material, cortar, medir, marcar				
tiempo	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
00:00	X	X	X								
10:00	X	X	X								
20:00	X		X								
30:00	X			X							
40:00	X			X	X						
50:00	X				X		X	X			
60:00	X								X		
70:00	X	X							X		
80:00	X	X	X				X	X			
90:00	X		X								
100:00	X			X							

DETALLE DE PROYECTO															
CODIGO DE PROYECTO: 1034															
NOMBRE DE PROYECTO: EDIFICIO EL NUEVO RANCHO															
PACTO:															
Categoría	Actividad Productiva					Actividad No Productiva					Actividad Contributiva				
Ejemplo	Uso de herramientas, Sucesión de acero, rrelleno					Esperas, búsqueda de herramientas, trámites innecesarios					Alcance de material, cortar, medir, marcar				
tiempo	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
00:00	X	X	X	X	X										
10:00	X	X	X	X	X										
20:00	X		X		X										
30:00	X				X										
40:00	X				X	X					X	X	X	X	X
50:00	X				X	X					X	X	X	X	X
60:00	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X
70:00	X		X		X						X	X	X	X	X

CONCLUSIONES	<ul style="list-style-type: none"> • 2 personas para perfilado • 6 personas en colocación de acero • 6 personas en encofrado • 1 HM en Excavadora
---------------------	---

Figura 21: Formato A3- Presentación de Resultados PDCA. Fuente: Elaboración Propia

En los cuadros a continuación se detallan los datos obtenidos durante la observación de las actividades medidas según el FRS.

- La medición se divide en tres tipos de actividad, que está descrita en el cuadro.
- El lapso de tiempo de medición es en minutos
- Las letras A-B-C corresponden al personal observado durante la medición, cantidad de personal que varía de acuerdo a la cuadrilla

GESTION DE PROYECTOS									
CODIGO DE PROYECTO: 1834									
NOMBRE DE PROYECTO EDIFICIO EL NUEVO RANCHO									
Fecha:									
Categoría	Actividad Productiva			Actividad No Productiva			Actividad Contributoria		
Ejemplo	Uso de herramientas, Excavación, Relleno			Esperas, búsqueda de herramientas, transporte innecesario			Alcance de material, cortar, medir, marcar		
Tiempo (minutos)	A	B	C	A	B	C	A	B	C
00.00	X	X	X						
10.00	X	X	X						
30.00	X		X					X	
50.00	X							X	X
70.00		X		X					X
90.00	X					X		X	
110.00	X	X				X			
130.00	X	X	X						
150.00			X	X				X	
180.00	X		X					X	

Figura 22: Formato PDCA Perfilado de Muro. Fuente: Elaboración Propia

GESTION DE PROYECTOS																		
CODIGO DE PROYECTO: 1834																		
NOMBRE DE PROYECTO EDIFICIO EL NUEVO RANCHO																		
Fecha:																		
Categoría	Actividad Productiva						Actividad No Productiva						Actividad Contributoria					
Ejemplo	Uso de herramientas, Colocación de acero, amarres						Esperas, búsqueda de herramientas, transporte innecesario						Alcance de material, cortar, medir, marcar					
Tiempo (minutos)	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
00.00	X	X	X	X	X	X												
10.00	X	X	X	X	X	X												
30.00	X		X	X	X	X									X			X
50.00	X			X										X	X		X	X
70.00		X			X		X			X				X	X			X
90.00	X			X					X			X		X			X	
110.00	X	X		X	X				X			X						
130.00	X	X	X	X	X	X												
150.00			X		X			X			X		X			X		
180.00	X		X	X		X								X			X	

Figura 23: Formato PDCA Acero de Muro. Fuente: Elaboración Propia

GESTION DE PROYECTOS																		
CODIGO DE PROYECTO: 1834																		
NOMBRE DE PROYECTO EDIFICIO EL NUEVO RANCHO																		
Fecha:																		
Categoría	Actividad Productiva						Actividad No Productiva						Actividad Contributoria					
Ejemplo	Uso de herramientas, Colocación de acero, amarres						Esperas, búsqueda de herramientas, transporte innecesario						Alcance de material, cortar, medir, marcar					
Tiempo (minutos)	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
00.00	X	X	X	X	X	X												
10.00	X	X	X	X	X	X												
30.00	X		X	X	X	X									X			X
50.00	X			X										X	X		X	X
70.00	X	X								X	X			X	X			X
90.00	X			X					X			X		X			X	
110.00	X	X		X	X				X			X						
130.00	X	X	X	X	X	X												
150.00		X	X		X	X	X			X								
180.00	X		X	X		X								X			X	

Figura 24: Formato PDCA Encofrado de Muro. Fuente: Elaboración Propia

5.1.2. Rendimiento de Materiales

Longitud (m)	Altura (m)	Espesor (m)	Desperdicio (%)
5.5	3.5	0.52	30%

- Se realiza el perfilado con un trazado previo del topógrafo, así como una revisión a mitad de actividad para asegurar que se profile el espesor indicado.
- Se convino utilizar listones de madera para asegurar que no exista una sobre excavación.
- Se ajusta el desperdicio del concreto al 30%

5.1.3. Rendimiento de Personal

5.1.3.1. Perfilado de Muro

N° Personas	HH Trabajadas	HH Total	Área (m ²)	Ratio (HH/m ²)
3	3	9	20.35	0.44

- Se calcula el ratio mediante la división de las HH Totales entre el Área.
- De acuerdo a la propuesta inicial de 3 personas el ratio obtenido era elevado
- Se ajustó el trabajo a 2 personas, cerrando el ratio en ese número.

5.1.3.2. Acero de Muros

N° Personas	HH Trabajadas	HH Total	Área (kg)	Ratio (HH/kg)
6	4	24	620	0.04

5.1.3.3. Encofrado de Muros

N° Personas	HH Trabajadas	HH Total	Área (m ²)	Ratio (HH/m ²)
6	3	18	20.35	0.90

5.1.4. Modulaci3n de Paños

Durante la ejecuci3n del monitoreo se plante3 un muro de 5.5 metros de longitud, para el cual se ajustaron las cuadrillas y se definieron los ratios. Esto gener3 el plano de paños a desarrollar.

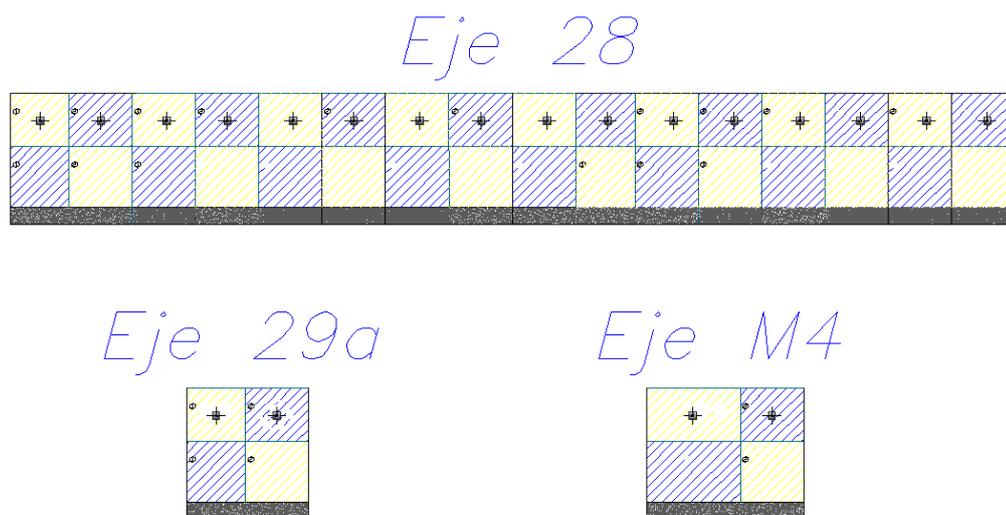


Figura 25: Sectorizaci3n de Muros Pantalla. Fuente: Elaboraci3n Propia

5.2. Presupuesto de Obra

Para poder completar el Informe Semanal de Producción - I.S.P utilizaremos los datos obtenidos por el presupuesto de obra, estos números se seleccionan en una reunión de obra con participación del área de Oficina Técnica y de Producción. Los ratios metas se utilizarán en adelante para asegurar finalizar la obra antes del plazo y con una brecha positiva en el presupuesto. A continuación se muestran los ratios metas para las distintas partidas de análisis de esta tesis:

5.2.1. Concreto Simple

0401		CONCRETO SIMPLE		PPTO VENTA		HOMBRE		MAQUINA		PARTIDA DE CONTROL	META							
Item	Item	Description (Español)	Unid	Cant	PU S/.	Parcial S/.	IP	HH	Horas Maq		Parcial H	METRADO	IP	HH	METRADO	IP	HM	
0	001	ESTRUCTURAS POR EJECUTAR B1 AL B6 (NO INC. B4)																
0	01.02.02.01	Solado fc=100 kg/cm2, e=5 cms	m2	134.44	18.53	2,491.17	0.1600	21.5100	0.0800	10.7600	0401	134.44	0.16	21.51	134.44	0.08	10.76	
0	009	BLOQUE IV																
0	01.01.02.01	CIMENTOS CORRIDOS Y SOBRECIMENTOS																
0	01.01.02.01.01	Concreto Ciclopeo 1:10+30% PG - Cimientos	m3	23.60	243.47	5,745.89	1.2000	28.3200	1.0000	23.6000	0401	23.60	1.20	28.32	23.60	1.00	23.60	
0	01.01.02.01.02	Concreto Ciclopeo 1:8 + 25% PM - Sobrecim	m3	7.75	248.60	1,926.65	1.2000	9.3000	1.0000	7.7500	0401	7.75	1.20	9.30	7.75	1.00	7.75	
0	01.01.02.02.01	Solado fc=100 kg/cm2, e=5 cms	m2	390.30	18.53	7,232.26	0.1600	62.4500	0.0800	31.2200	0401	390.30	0.16	62.45	390.30	0.08	31.22	
0	010	AREAS COMUNES - PARQUE CENTRAL																
0	01.01.02.01.01	CIMENTOS CORRIDOS Y SOBRECIMENTOS																
0	01.01.02.01.01.01	Concreto Ciclopeo 1:10+30% PG - Cimientos	m3	21.00	243.47	5,112.87	1.2000	25.2000	1.0000	21.0000	0401	21.00	1.20	25.20	21.00	1.00	21.00	
0	01.01.02.01.01.02	Concreto Ciclopeo 1:8 + 25% PM - Sobrecim	m3	5.30	248.60	1,317.58	1.2000	6.3600	1.0000	5.3000	0401	5.30	1.20	6.36	5.30	1.00	5.30	
0	01.01.02.01.02.01	Solado fc=100 kg/cm2, e=5 cms	m2	285.00	18.53	5,281.05	0.1600	45.6000	0.0800	22.8000	0401	285.00	0.16	45.60	285.00	0.08	22.80	
				98.14	29,107.47		HH	198.74	HH	122.43		98.14		198.74	98.14		122.43	
							HH/m3	2.03	HM/Sem	1.25				2.03	HH/m3		1.25	

META 1.10 HH/m3

Figura 26: Ratio Meta de Concreto Simple según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. Concreto Premezclado

0402			CONCRETO PREMEZCLADO				PPTO VENTA		HOMBRE		MAQUINA		PARTIDA DE CONTROL	META				
Item	Item	Description (Español)	Unid	Cant	PU S/.	Parcial S/.	IP	HH	Horas Maqu	Parcial H		METRAD	IP	HH	METRAD	IP	HM	
0	0 09	BLOQUE IV																
0	0 01.01.03.01	CIMENTOS CORRIDOS ARMADOS																
0	0 01.01.03.01.01	Concreto fc=210kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	101.90	279.87	28,518.75	1.2000	122.2800	1.0000	101.9000	0402	101.90	0.90	92.12	101.90	1.00	101.90	
0	0 01.01.03.02	ZAPATAS AISLADAS																
0	0 01.01.03.02.01	Concreto fc=210kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	203.50	279.87	56,953.55	1.2000	244.2000	1.0000	203.5000	0402	203.50	0.90	183.96	203.50	1.00	203.50	
0	0 01.01.03.04	MUROS DE CONTENCIÓN (1 CARA)																
0	0 01.01.03.04.04	Concreto fc=350kg/cm2 (Piedra 67- slump 6")	m3	31.60	420.55	13,289.38	1.4000	44.2400	0.8000	25.2800	0402	31.60	1.10	34.76	31.60	0.80	25.28	
0	0 01.01.03.05	MUROS (2 CARAS)																
0	0 01.01.03.05.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 67, slump 6")	m3	250.30	316.70	79,270.01	1.4000	350.4200	0.8000	200.2400	0402	250.30	1.10	275.33	250.30	0.80	200.24	
0	0 01.01.03.06	PLACAS																
0	0 01.01.03.06.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 67, slump 6")	m3	477.60	316.70	151,255.92	1.4000	668.6400	0.8000	382.0800	0402	477.60	1.10	525.36	477.60	0.80	382.08	
0	0 01.01.03.07	COLUMNAS																
0	0 01.01.03.07.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 67, slump 6")	m3	130.20	316.70	41,234.34	1.4000	182.2800	0.8000	104.1600	0402	130.20	1.10	143.22	130.20	0.80	104.16	
0	0 01.01.03.08	VIGAS				0.00												
0	0 01.01.03.08.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	465.90	308.30	143,636.97	1.4000	652.2600	0.8000	372.7200	0402	465.90	1.10	512.49	465.90	0.80	372.72	
0	0 01.01.03.09	LOSAS MACIZAS																
0	0 01.01.03.09.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	133.50	308.30	41,158.05	1.4000	186.9000	0.8000	106.8000	0402	133.50	1.10	146.85	133.50	0.80	106.80	
0	0 01.01.03.10	LOSA ALIGERADA FIRTH																
0	0 01.01.03.10.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	234.10	308.30	72,173.03	1.4000	327.7400	0.8000	187.2800	0402	234.10	1.10	257.51	234.10	0.80	187.28	
0	0 01.01.03.11	LOSA ALIGERADA EN DOS DIMENSIONES																
0	0 01.01.03.11.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	192.60	308.30	59,378.58	1.4000	269.6400	0.8000	154.0800	0402	192.60	1.10	211.86	192.60	0.80	154.08	
0	0 01.01.03.12	LOSA SOBRE TERRENO H=0.15M																
0	0 01.01.03.12.01	Concreto fc=210kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	203.20	285.80	58,074.56	1.2000	243.8400	0.4000	81.2800	0402	203.20	1.20	243.84	203.20	0.40	81.28	
0	0 01.01.03.13	ESCALERAS																
0	0 01.01.03.13.01	Concreto fc=245kg/cm2 (Piedra 57, slump 4")	m3	38.10	308.30	11,746.23	1.4000	53.3400	0.8000	30.4800	0402	38.10	1.10	41.91	38.10	0.80	30.48	
0	0 01.01.03.14	VEREDAS																
0	0 01.01.03.15	VARIOS																
0	0 01.01.03.15.03	Junta sísmica 3"	m2	69.40	13.72	952.17	0.2666	18.5000	0.0000	0.0000	0402							
0	0 01.01.03.15.04	Juntas de construcción en piso (Sikaflex) 1/2"	ml	1,450.00	14.97	21,706.50	0.2666	386.5700	0.0000	0.0000	0402							
				4,805.89		1,683,002.36	HH	10,736.95	HH	3,741.50		4,805.89		6,174.87	4,805.89		3,741.49	
							HH/m3	2.23	HM/m3	0.78				1.28	HH/m3		0.78	

META 1.10 HH/m3

Figura 27: Ratio Meta de Concreto Premezclado según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. Acero

0403		ACERO	PPTO VENTA				HOMBRE		MAQUINA		PARTIDA DE CONTR	META							
	Ite	Description (Español)	U	Caat	PU \$/	Parcial \$	IP	HH	bras Ma	Parci HM		METRADO	IP	HH	METRADO	IP	HH		
0	0	BLOQUE IV																	
0	0	01.01.03.02 ZAPATAS AISLADAS																	
0	0	01.01.03.02.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	10,204.60	3.25	33,164.95	0.0480	489.8200	0.0064	65.3100	0403	10,204.60	0.0500	510.23	10,204.60	0.01	65.31		
0	0	01.01.03.04 MUROS DE CONTENCIÓN (1 CARA)																	
0	0	01.01.03.04.06 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	2,175.90	3.25	7,071.68	0.0480	104.4400	0.0064	13.9300	0403	2,175.90	0.0500	108.80	2,175.90	0.01	13.93		
0	0	01.01.03.04.07 Refuerzo en zona de anclaje	kg	300.00	3.51	1,053.00	0.0667	20.0100	0.0216	6.4800	0403	300.00	0.0667	20.01	300.00	0.02	6.48		
0	0	01.01.03.04.11 Conector mecánico 1"	und	30.00	150.24	13,521.60	0.6000	54.0000	0.0000	0.0000	0403								
0	0	01.01.03.04.12 Conector mecánico 3/4"	und	20.00	97.35	1,959.00	0.6000	12.0000	0.0000	0.0000	0403								
0	0	01.01.03.05 MUROS (2 CARAS)																	
0	0	01.01.03.05.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	15,620.30	3.25	50,765.98	0.0480	749.7700	0.0064	99.3700	0403	15,620.30	0.0500	781.02	15,620.30	0.01	39.97		
0	0	01.01.03.06 PLACAS																	
0	0	01.01.03.06.04 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	68,371.70	3.25	222,206.03	0.0480	3,281.8400	0.0064	437.5800	0403	68,371.70	0.0500	3,418.59	68,371.70	0.01	437.58		
0	0	01.01.03.07 COLUMNAS																	
0	0	01.01.03.07.04 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	36,390.60	3.25	118,269.45	0.0480	1,746.7500	0.0064	232.9000	0403	36,390.60	0.0500	1,819.53	36,390.60	0.01	232.90		
0	0	01.01.03.08 VIGAS																	
0	0	01.01.03.08.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	105,501.90	3.25	342,881.18	0.0480	5,064.0900	0.0064	675.2100	0403	105,501.90	0.0500	5,275.10	105,501.90	0.01	675.21		
0	0	01.01.03.09 LOSAS MACIZAS																	
0	0	01.01.03.09.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	9,138.60	3.25	29,700.45	0.0480	438.6500	0.0064	58.4900	0403	9,138.60	0.0500	456.93	9,138.60	0.01	58.49		
0	0	01.01.03.10 LOSA ALIGERADA FIRTH																	
0	0	01.01.03.10.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	8,840.50	3.25	28,731.63	0.0480	424.3400	0.0064	56.5800	0403	8,840.50	0.0500	442.03	8,840.50	0.01	56.58		
0	0	01.01.03.11 LOSA ALIGERADA EN DOS DIMENSIONES																	
0	0	01.01.03.11.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	13,184.20	3.25	42,848.65	0.0480	632.8400	0.0064	84.3800	0403	13,184.20	0.0500	659.21	13,184.20	0.01	84.38		
0	0	01.01.03.12 LOSA SOBRE TERRENO H=0.15M																	
0	0	01.01.03.12.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	82.00	3.25	266.50	0.0480	3.3400	0.0064	0.5200	0403	82.00	0.0500	4.10	82.00	0.01	0.52		
0	0	01.01.03.13 ESCALERAS																	
0	0	01.01.03.13.03 Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	3,166.80	3.25	10,292.10	0.0480	152.0100	0.0064	20.2700	0403	3,166.80	0.0500	158.34	3,166.80	0.01	20.27		
0	0	01.01.03.14 VEREDAS																	
				*****		*****	HH	*****	HH	*****		*****		20,639.27	*****		*****		
							HH/Kg.	0.0482	HM/Kg.	0.0064			0.0500	HH/Kg.			0.01	HM/Kg.	
												META	0.0450	HH/Kg.					

Figura 28: Ratio Meta de Acero según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. Encofrado

0404 ENCOFRADO			PPTO VENTA				HOMBRE		MAQUINA		PARTIDA DE CONTROL	META					
Item	Item	Description (Español)	Unit	Cant	PU \$/.	Parcial \$/.	IP	HH	Horas Maquin	Parcial HM		METRADO	IP	HH	METRADO	IP	HM
0	01.03.04	MUROS (2 CARAS)															
0	01.03.04.02	Encofrado y desencofrado metalico (2 caras)	m2	2,512.34	56.31	141,469.87	1.4545	3,654.2000	0.1232	309.5200	0404	2,512.34	1.45	3,654.20	2,512.34	0.12	309.52
0	01.03.08	LOSAS MACIZAS															
0	01.03.08.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	366.29	55.12	20,189.90	1.4545	532.7700	0.1600	58.6100	0404	366.29	1.45	532.77	366.29	0.16	58.61
0	01.03.10	LOSA SOBRE TERRENO H=0.15M															
0	01.03.10.02	Encofrado de Madera (friso)	m1	686.94	12.87	8,840.92	0.3636	249.7700	0.0320	21.9800	0404	686.94	0.36	249.77	686.94	0.03	21.98
0	01.03.11	ESCALERAS															
0	01.03.11.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	195.14	55.12	10,756.12	1.4545	283.8300	0.1600	31.2200	0404	195.14	1.45	283.83	195.14	0.16	31.22
0	01.03.13	CISTERNA (VIGAS+LOSA DE TECHO)															
0	01.03.13.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	97.94	55.12	5,398.45	1.4545	142.4500	0.1600	15.6700	0404	97.94	1.45	142.45	97.94	0.16	15.67
0	01.03.16.03	PARAPETO															
0	01.03.16.03.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	399.59	56.31	22,500.91	1.4545	581.2000	0.1232	49.2300	0404	399.59	1.45	581.20	399.59	0.12	49.23
0	01.03.17	PARAPETO CON BANCA ADHERIDA															
0	01.03.17.02	Encofrado y desencofrado de madera	m2	230.17	47.32	10,891.64	1.4545	334.7800	0.1336	30.7500	0404	230.17	1.45	334.78	230.17	0.13	30.75
0	01	BLOQUE IV															
0	01.01.02.01	CIMENTOS CORRIDOS Y SOBRECIMENTOS															
0	01.01.02.01.03	Encofrado y desencofrado de madera	m2	98.00	47.32	4,637.36	1.4545	142.5400	0.1336	13.0900	0404	98.00	1.45	142.54	98.00	0.13	13.09
0	01.01.03.01	CIMENTOS CORRIDOS ARMADOS															
0	01.01.03.01.02	Encofrado y desencofrado de madera	m2	204.70	47.32	9,686.40	1.4545	297.7400	0.1336	27.3500	0404	204.70	1.45	297.74	204.70	0.13	27.35
0	01.01.03.02	ZAPATAS AISLADAS															
0	01.01.03.02.02	Encofrado y desencofrado de madera	m2	321.00	47.32	15,189.72	1.4545	466.8900	0.1336	42.8900	0404	321.00	1.45	466.89	321.00	0.13	42.89
0	01.01.03.04	MUROS DE CONTENION (1 CARA)															
0	01.01.03.04.05	Encofrado y desencofrado muro anclado (inc)	m2	126.10	85.77	10,815.60	1.4545	183.4100	0.1064	13.4200	0404	126.10	1.45	183.41	126.10	0.11	13.42
0	01.01.03.05	MUROS (2 CARAS)															
0	01.01.03.05.02	Encofrado y Desencofrado Metalico (2caras)	m2	1,750.30	56.31	98,559.39	1.4545	2,545.8100	0.1232	215.6400	0404	1,750.30	1.45	2,545.81	1,750.30	0.12	215.64
0	01.01.03.06	PLACAS															
0	01.01.03.06.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	4,063.60	56.31	228,821.32	1.4545	5,910.5100	0.1232	500.6400	0404	4,063.60	1.45	5,910.51	4,063.60	0.12	500.64
0	01.01.03.06.03	Encofrado y desencofrado metalico doble altu	m2	78.20	64.73	5,061.89	1.8824	147.2000	0.1232	9.6300	0404	78.20	1.88	147.20	78.20	0.12	9.63
0	01.01.03.07	COLUMNAS															
0	01.01.03.07.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	1,109.50	56.31	62,475.95	1.4545	1,613.7700	0.1232	136.6900	0404	1,109.50	1.45	1,613.77	1,109.50	0.12	136.69
0	01.01.03.07.03	Encofrado y desencofrado metalico doble altu	m2	100.10	64.73	6,479.47	1.8824	188.4300	0.1232	12.3300	0404	100.10	1.88	188.43	100.10	0.12	12.33
0	01.01.03.08	VIGAS				0.00											
0	01.01.03.08.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	3,281.85	55.12	180,896.57	1.4545	4,773.4500	0.1600	525.1000	0404	3,281.85	1.45	4,773.45	3,281.85	0.16	525.10
0	01.01.03.09	LOSAS MACIZAS															
0	01.01.03.09.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	667.40	55.12	36,787.09	1.4545	970.7300	0.1600	106.7800	0404	667.40	1.45	970.73	667.40	0.16	106.78
0	01.01.03.10	LOSA ALIGERADA FIRTH															
0	01.01.03.10.02	Apuntalamiento	m2	3,335.60	53.55	178,621.38	1.2308	4,105.4600	0.6152	2,052.0600	0404	3,335.60	1.23	4,105.46	3,335.60	0.62	2,052.06
0	01.01.03.11	LOSA ALIGERADA EN DOS DIMENSIONES															
0	01.01.03.11.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	1,714.40	55.12	94,497.73	1.4545	2,493.5900	0.1600	274.3000	0404	1,714.40	1.45	2,493.59	1,714.40	0.16	274.30
0	01.01.03.12	LOSA SOBRE TERRENO H=0.15M															
0	01.01.03.12.02	Encofrado y desencofrado de losa de piso (h)	m1	81.90	12.87	1,054.05	0.3636	29.7800	0.0320	2.6200	0404	81.90	0.36	29.78	81.90	0.03	2.62
0	01.01.03.13	ESCALERAS															
0	01.01.03.13.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	276.00	55.12	15,213.12	1.4545	401.4400	0.1600	44.1600	0404	276.00	1.45	401.44	276.00	0.16	44.16
0	01	AREAS COMUNES - PARQUE CENTRAL															
0	01.01.02.01.01	CIMENTOS CORRIDOS Y SOBRECIMENTOS															
0	01.01.02.01.01.03	Encofrado y desencofrado de madera	m2	70.30	47.32	3,326.60	1.4545	102.2500	0.1336	9.3900	0404	70.30	2.00	140.60	70.30	0.13	9.39
0	01.01.02.01.02	SOLIDOS															
0	01.01.03	OBRAS DE CONCRETO ARMADO															
0	01.01.03.01	CIMENTOS CORRIDOS ARMADOS															
0	01.01.03.01.02	Encofrado y desencofrado de madera	m2	763.40	47.32	36,124.09	1.4545	1,110.3700	0.1336	101.9900	0404	763.40	2.00	1,526.80	763.40	0.13	101.99
0	01.01.03.02	MUROS (2 CARAS)															
0	01.01.03.02.02	Encofrado y desencofrado metalico (2 caras)	m2	3,904.00	56.31	219,834.24	1.4545	5,678.3700	0.1232	480.9700	0404	3,904.00	2.00	7,808.00	3,904.00	0.12	480.97
0	01.01.03.03	VIGAS															
0	01.01.03.03.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	653.50	55.12	36,020.92	1.4545	950.5200	0.1600	104.5600	0404	653.50	2.00	1,307.00	653.50	0.16	104.56
0	01.01.03.04	LOSAS MACIZAS															
0	01.01.03.04.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	626.30	55.12	34,521.66	1.4545	910.9500	0.1600	100.2100	0404	626.30	2.00	1,252.60	626.30	0.16	100.21
0	01.01.03.05	LOSA SOBRE TERRENO H=0.15M															
0	01.01.03.05.02	Encofrado y desencofrado de losa de piso (h)	m1	100.70	12.87	1,296.01	0.3636	36.6100	0.0320	3.2200	0404	100.70	0.36	36.61	100.70	0.03	3.22
0	01.01.03.06	ESCALERAS															
0	01.01.03.06.02	Encofrado y desencofrado metalico	m2	12.50	55.12	689.00	1.4545	18.1800	0.1600	2.0000	0404	12.50	2.00	25.00	12.50	0.16	2.00
				27,097.78		1,500,656.37	HH	38,857.00	HH	5,296.02	27,097.78	42,146.38	27,097.78			5,296.03	
							HM/m2	1.4340	HM/m2	0.1954		1.58	HM/m2			9.20	HM/m2
											1.35	0.0450	HM/m2				

Figura 29: Ratio Meta de Encofrado según Presupuesto de Obra. Fuente: Elaboración Propia

5.3. Informe Semanal de Producción

El informe semanal de producción es una hoja de Excel que contiene todos los Metrados ejecutados en la semana así como las HH consumidas, lo que permite observar el ratio obtenido y el acumulado en la reunión semanal de obra.

Las herramientas utilizadas para el final entregable que es el I.S.P. son varias y están designadas para los distintos niveles de planificación, las mismas que se detallan a continuación.

5.3.1.1. Tareo Diario

Para asegurar el cumplimiento de los compromisos dados en la reunión de obra semanal, la programación diaria se traduce en planos diagramados y especificados que se entregan a los capataces y/o jefes de grupo de manera diaria con información exacta que permita la correcta comunicación de las metas en la línea de mando.

A continuación se presentan las hojas del tareo diario que se programan a fin de día junto a los capataces para liberar cualquier restricción de último momento que pueda impedir su cumplimiento.

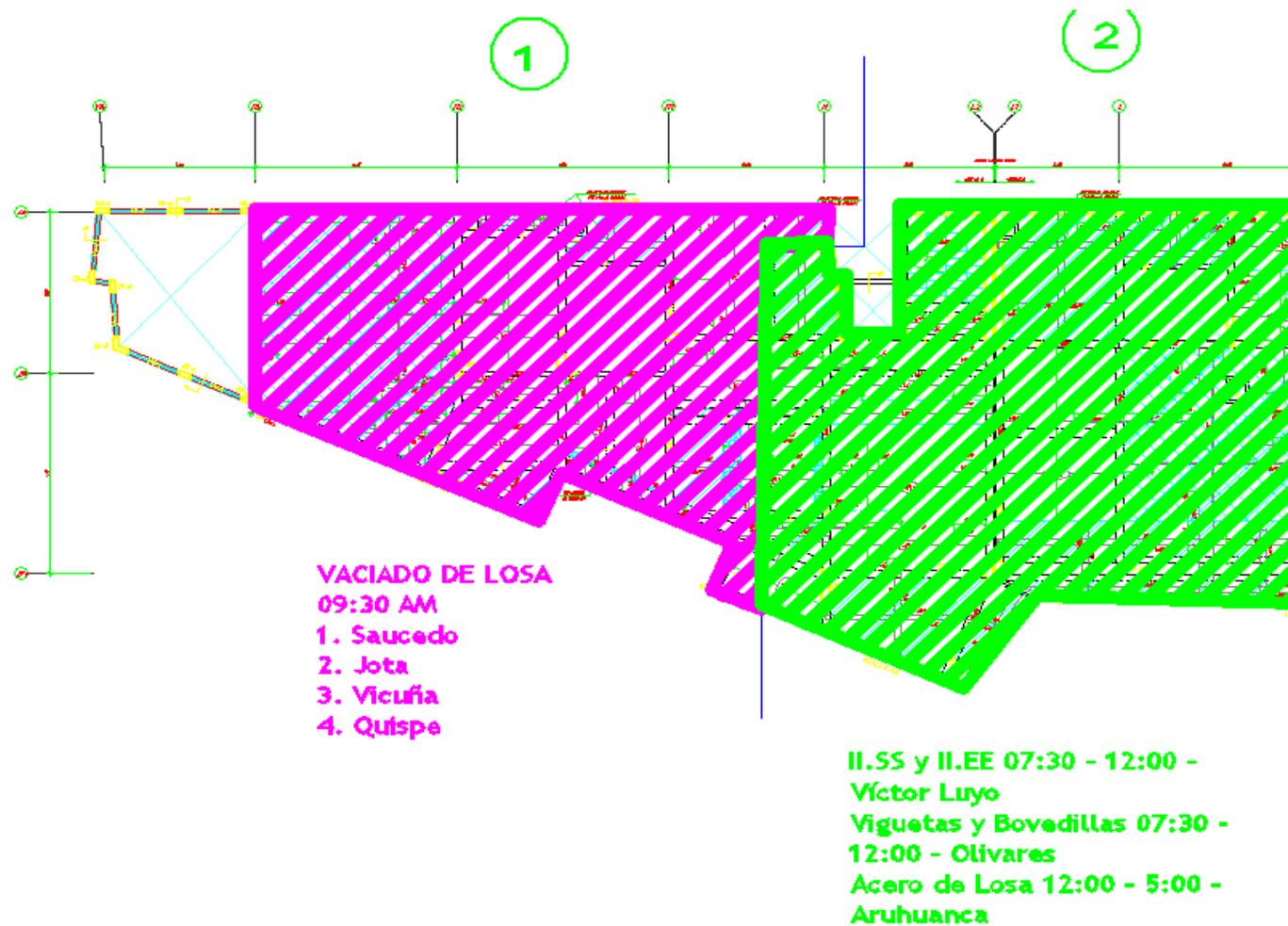


Figura 30: Tareo Diario Sectores 1 y 2. Fuente: Elaboración Propia

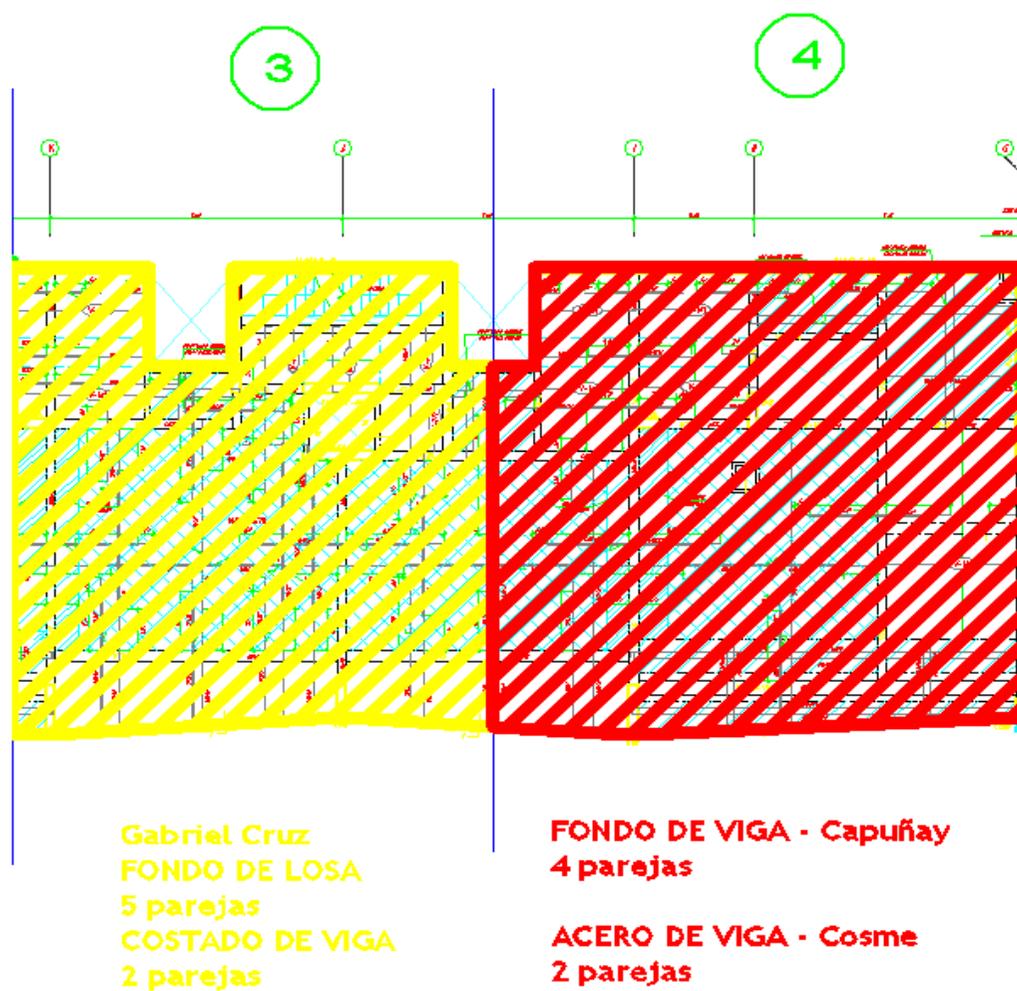


Figura 31: Tareo Diario Sectores 3 y 4. Fuente: Elaboración Propia

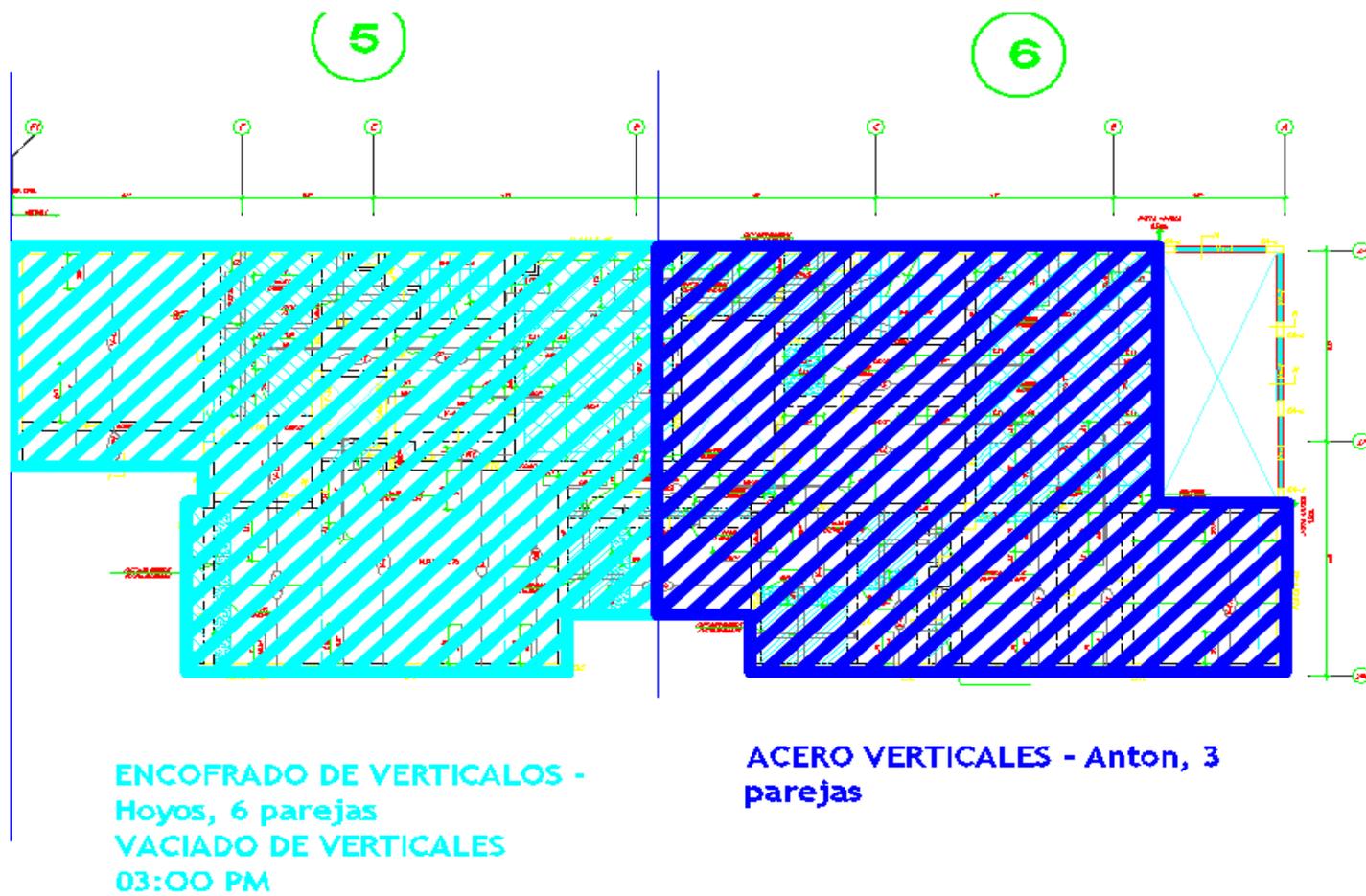


Figura 32: Tareo Diario Sectores 5 y 6. Fuente: Elaboración Propia

5.3.1.2. Hoja de Producción

Para el monitorio del avance semanal y los ratios obtenidos, así también los desperdicios; se tiene una hoja Excel que se actualiza de forma diaria para monitorear el avance en campo vs el avance programado en la reunión de compromisos.

Estas hojas de producción son documentos oficiales y difundidos por parte del Residente de Obra y el Jefe de Producción, la hoja Excel se ejecuta en conjunto con el área de Oficina Técnica para que se monitoreen los aspectos que a consideración de los jefes de obra sean de importancia y/o de riesgo para el proyecto. A continuación se detallan las hojas de producción adecuadas para el proyecto:

Hoja de Producción de Acero

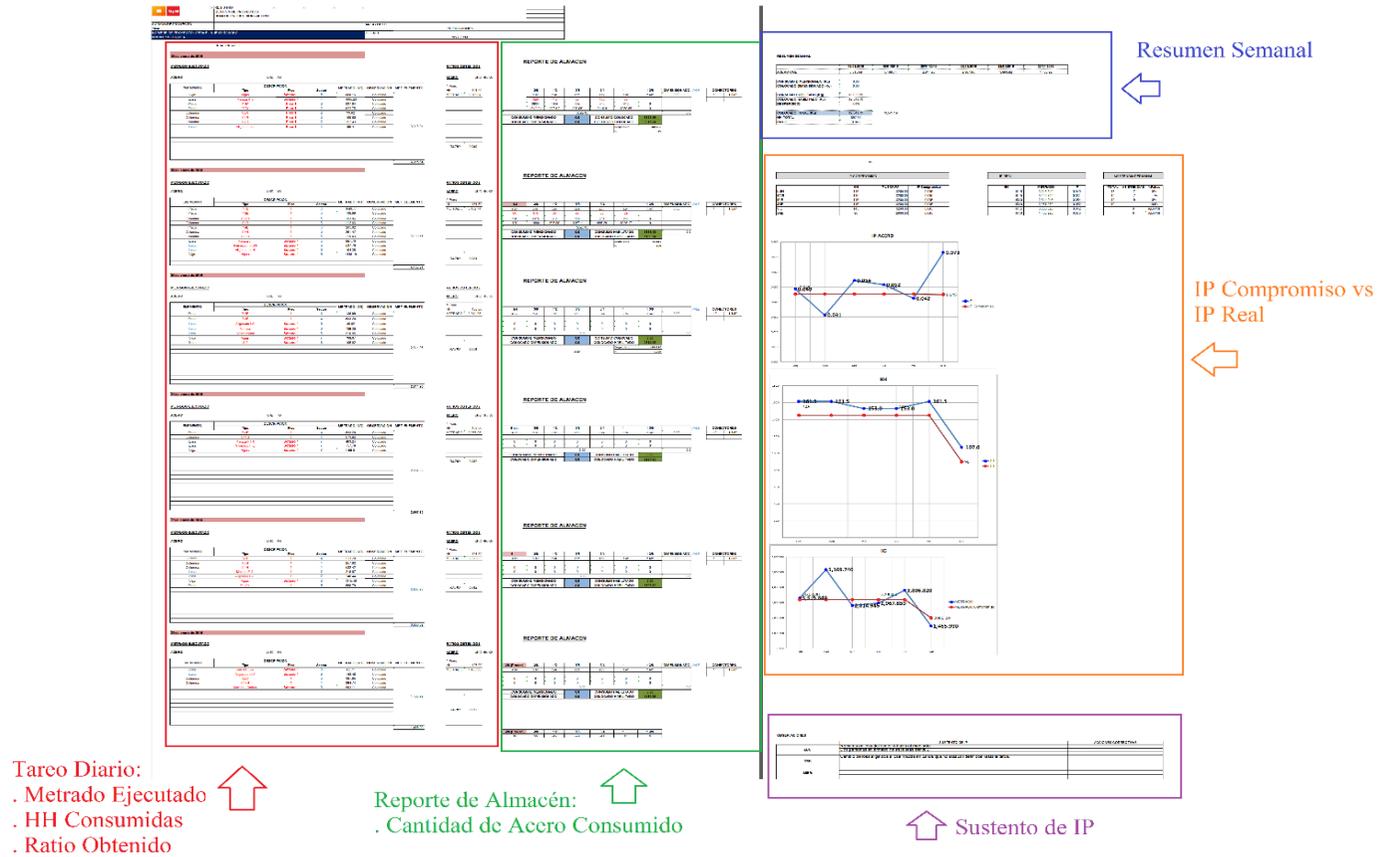


Figura 33: Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia

Los datos en rojo son las varillas retiradas en Almacén mediante el vale de consumo. Los datos en verde son el acero consumido y colocado.

REPORTE DE ALMACEN

\emptyset	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 3/8	DIMENSIONADO	
kg/mts	0.25	0.56	0.99	1.55	2.24	3.97	7.907	0.00	
cant. varilla	60	375	68	98	33	29			
cant x long	516	3375	612	882	297	261	0		
KG	129	1890	605.88	1367.1	665.28	1036.17	0		
KG	5693.43								
	CONSUMO DIMENSIONADO (KG)			0.0	CONSUMO HABILITADO (KG)			5693.43	0.0
	COLOCADO DIMENSIONADO (KG)			0.0	COLOCADO HABILITADO (KG)			5169.74	
	Desperdicio (KG)						523.69		
	%						10%		

Figura 35: Reporte de Almacén de la Hoja de Producción de Acero. Fuente:

Elaboración Propia.

c) **IP Compromiso vs IP Real**

El IP Compromiso es definido cada inicio de semana y es la proyección de lo que se obtendrá de acuerdo a las actividades ejecutables existentes y a las restricciones levantadas para dar inicio a la actividad. Esta comparativa nos da una visión global acerca del cumplimiento, lo que se verá de forma global cuando se obtenga el PPC, sin embargo este cuadro nos permite observar con facilidad nuestro cumplimiento.

En el eje “y” están considerados los ratios HH/kg mientras que en el eje “x” están considerados los días de la semana medidos.

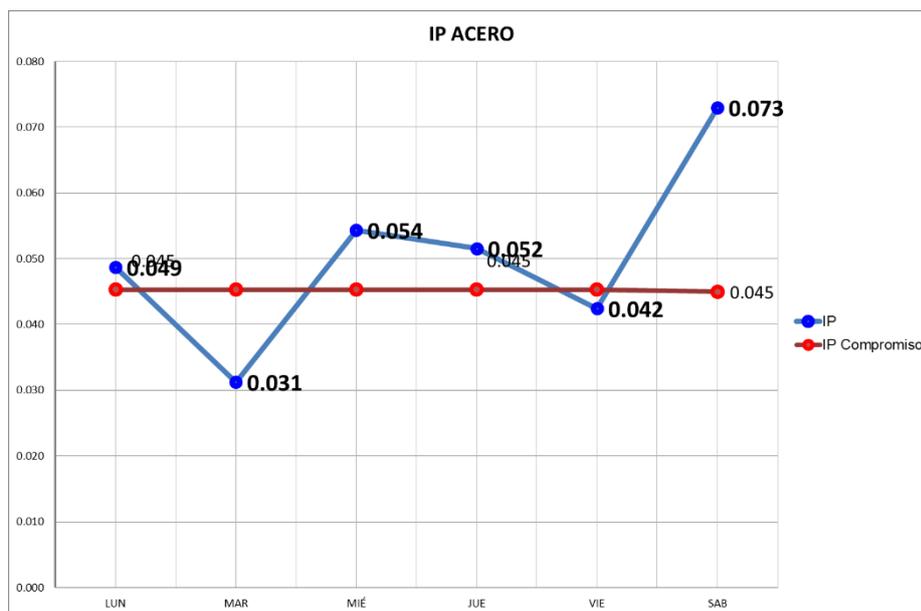


Figura 36: IP de Acero de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

d) Resumen Semanal

Este cuadro resumen es útil para la revisión de los resultados por parte de Oficina Técnica.

RESUMEN SEMANAL

	18/01/2016	19/01/2016	20/01/2016	21/01/2016	22/01/2016	23/01/2016
ACERO COLOCADO (Kg)	3,315.84	5,169.74	2,814.95	2,967.85	3,806.82	1,465.99
CONSUMO DIMENSIONADO (Kg)	0.00					
COLOCADO DIMENSIONADO (Kg)	0.00					
CONSUMO HABILITADO (Kg)	12,022.59					
COLOCADO HABILITADO (Kg)	19,541.19					
DESPERDICIO (%)	-63%					
COLOCADO TOTAL (Kg)	19,541.19					
HH TOTAL	897.50					
RATIO (HH/KG)	0.046					

Figura 37: Resumen Semanal de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración Propia.

e) **Sustento de IP**

Es donde se coloca las razones por las que se obtuvo determinado IP, específicamente cuando se obtienen valores muy por sobre el IP Compromiso o de lo contrario muy por debajo.

Este sustento es vital para llevar un control de las razones de no cumplimiento que nos permitan mejorar el control en campo o modificar la programación en gabinete, al buscar las razones por las que no se llegó a cumplir un compromiso nos permite entrar al ciclo de mejora continua.

OBSERVACIONES

	SUSTENTO DE IP	ACCIONES CORRECTIVAS
LUN:	Remates en losa del sector 8 hasta el mediodía. Dos personas en armado de escaleras frente 2	
MAR:	Cambio de losa aligerada a losa maciza en banos que no estaban definidos hasta la tarde.	Se reportó al Área de Ingeniería para enviar las RFI faltantes

Figura 38: Sustento del IP de la Hoja de Producción de Acero. Fuente: Elaboración

Propia.

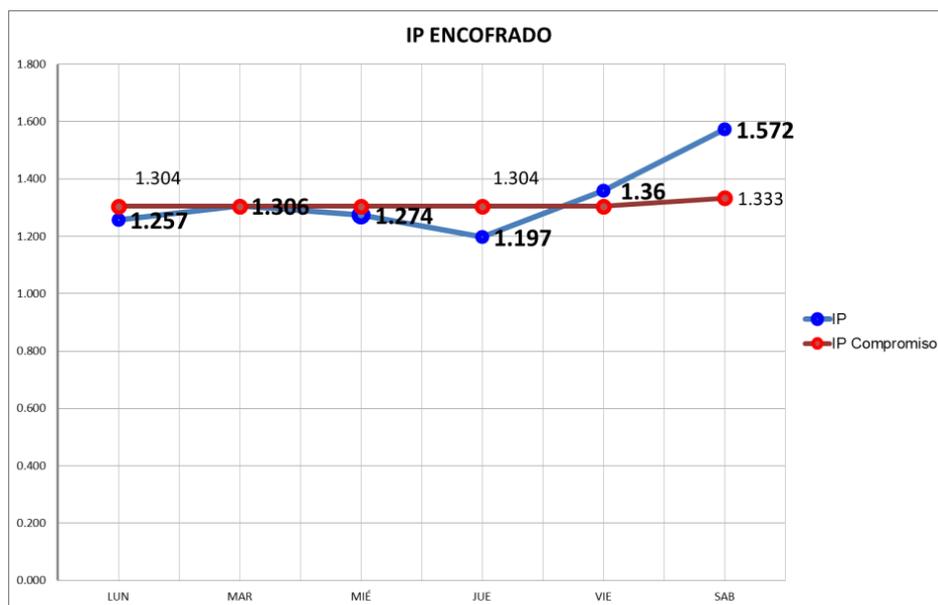


Figura 41: IP de Encofrado de la Hoja de Producción de Acero. Fuente:

Elaboración Propia.

c) Resumen Semanal

Este cuadro resumen es útil para la revisión de los resultados por parte de Oficina Técnica.

RESUMEN SEMANAL

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
	22/02/2016	23/02/2016	24/02/2016	25/02/2016	26/02/2016	27/02/2016
M2 COLOCADOS	233.43	258.78	273.61	261.06	244.28	136.41

COLOCADO TOTAL (M2)	1,407.57
HH TOTAL	1,839.00
RATIO (HH/m2)	1.307

Figura 42: Resumen Semanal de la Hoja de Producción de Encofrado. Fuente:

Elaboración Propia.

d) Sustento de IP

Es donde se coloca las razones por las que se obtuvo determinado IP, específicamente cuando se obtienen valores muy por sobre el IP Compromiso o de lo contrario muy por debajo.

OBSERVACIONES

	SUSTENTO DE IP	ACCIONES CORRECTIVAS
LUN:		
MAR:		
MIER:	Faltaron 8 personas La Placa P-4C colinda con un vecino. Se utilizar 6HH para protección del área	
JUEV.:	Los retrasos generados por el concreto no liberaron frente para ingreso	Se dio aviso al Área de Ingeniería para definir detalles
VIER:		
SAB:		

Figura 43: Sustento de IP de la Hoja de Producción de Encofrado. Fuente: Elaboración

Propia.

Hoja de producción de Concreto

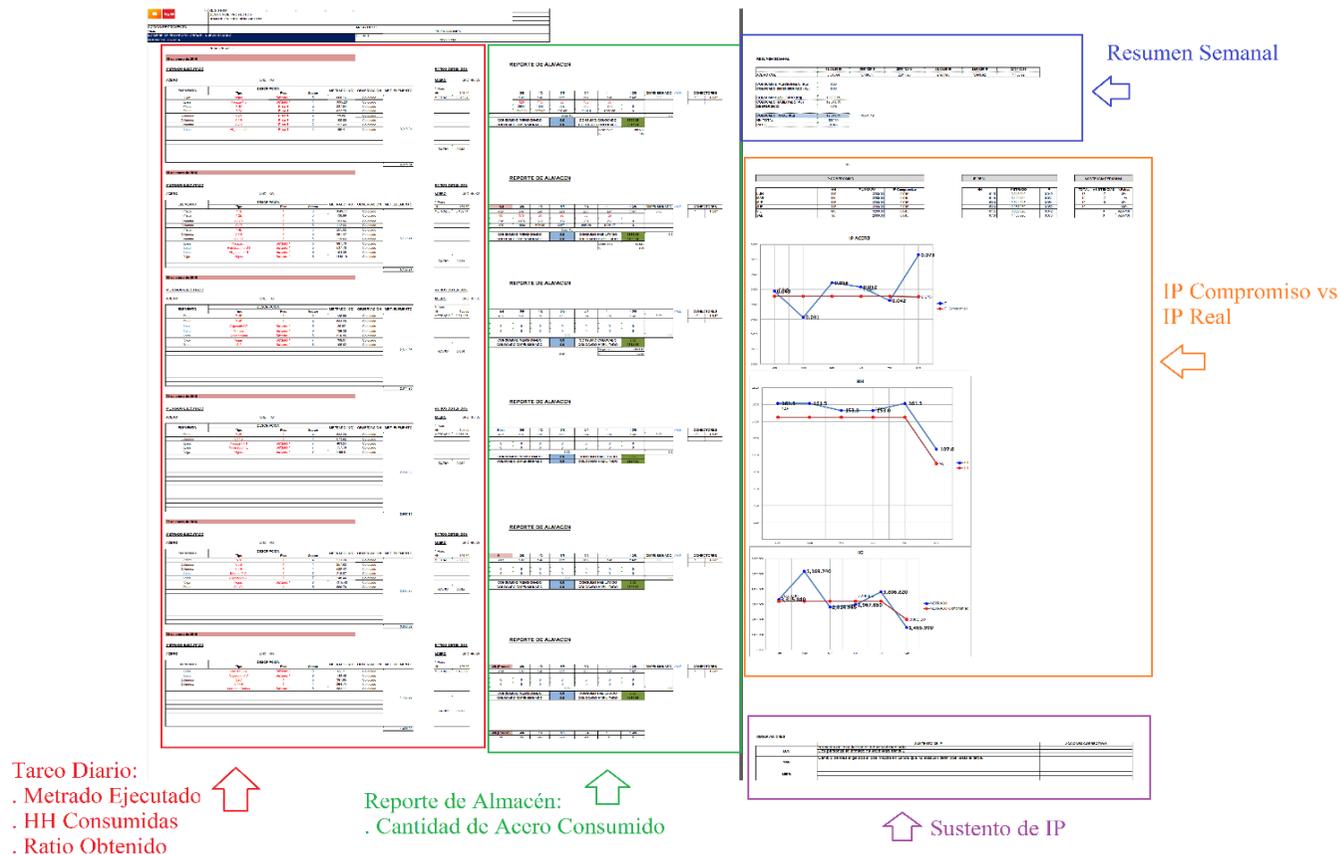


Figura 44: Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

Consumo (Almacén)		Metrado Teorico (m3)	Desperdicio (%)
Consumo Guía (m3)	Concreto f'c (kg/cm2)		
33.0	210	31.45	4.9%

Figura 46: Reporte de Almacén de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente:

Elaboración Propia.

c) **IP Compromiso vs IP Real**

El IP Compromiso es definido cada inicio de semana y es la proyección de lo que se obtendrá de acuerdo a las actividades ejecutables existentes y a las restricciones levantadas para dar inicio a la actividad. Esta comparativa nos da una visión global acerca del cumplimiento, lo que se verá de forma global cuando se obtenga el PPC, sin embargo este cuadro nos permite observar con facilidad nuestro cumplimiento.

En el eje “y” están considerados los ratios HH/m³ mientras que en el eje “x” están considerados los días de la semana medidos.

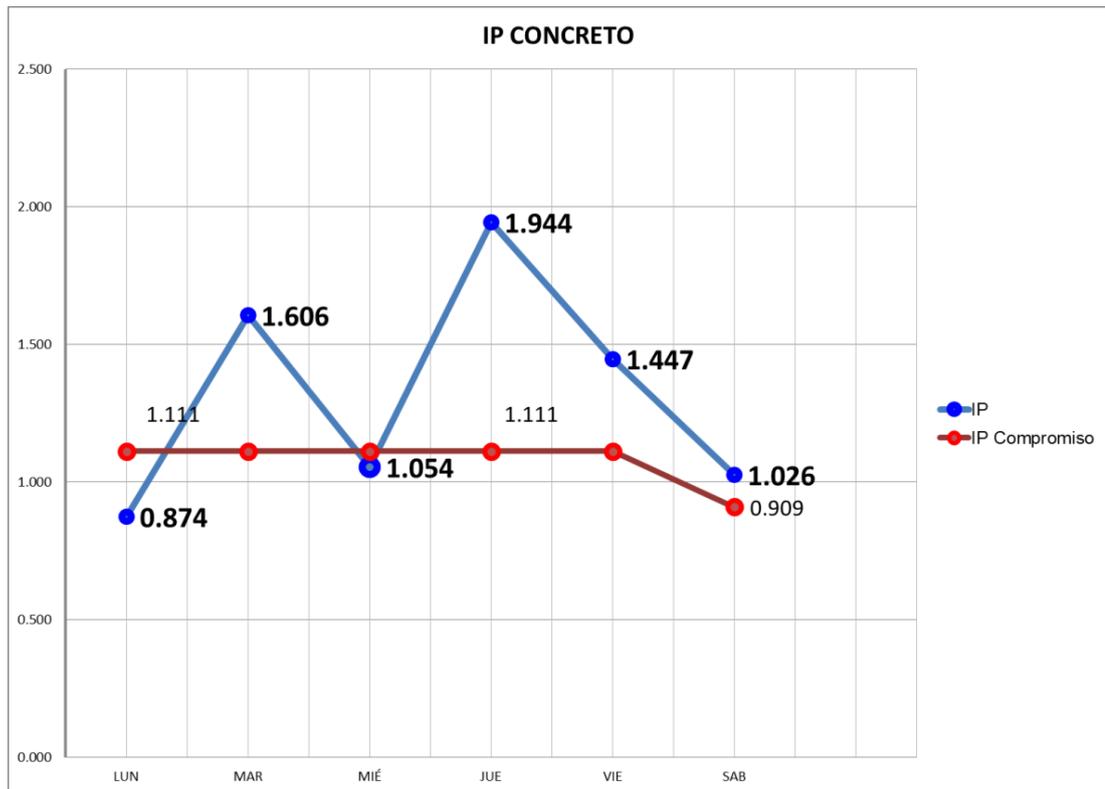


Figura 47: IP de Concreto de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.

d) Resumen Semanal

Este cuadro resumen es útil para la revisión de los resultados por parte de Oficina Técnica.

RESUMEN SEMANAL

	8/02/2016	9/02/2016	10/02/2016	11/02/2016	12/02/2016	13/02/2016
CONCRETO COLOCADO (m3)	52.10	48.13	50.28	37.82	44.55	6.45
HH	54.00	39.00	46.50	36.50	68.50	0.00
TIPO f'c (kg/cm2)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
CONSUMO CONCRETO (m3)	52.1	48.125	50.28	37.82	44.6	6.45
COLOCADO CONCRETO (m3)	53.3	50	52	39	46	6.5
DESPERDICIO (%)	3%	4%	3%	3%	3%	1%
TOTAL CONSUMIDO (m3)	232.9					
TOTAL COLOCADO (m3)	240.3					
TOTAL DESPERDICIO (%)	3%					
HH TOTAL	244.50					
RATIO (HH/m3)	1.02					

Figura 48: Resumen Semanal de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente:

Elaboración Propia.

e) **Sustento de IP**

Es donde se coloca las razones por las que se obtuvo determinado IP, específicamente cuando se obtienen valores muy por sobre el IP Compromiso o de lo contrario muy por debajo.

Este sustento es vital para llevar un control de las razones de no cumplimiento que nos permitan mejorar el control en campo o modificar la programación en gabinete, al buscar las razones por las que no se llegó a cumplir un compromiso nos permite entrar al ciclo de mejora continua.

OBSERVACIONES

	SUSTENTO DE IP	ACCIONES CORRECTIVAS
LUN:		
MAR:		
MIER:		
JUEV:		
VIER:		
SAB:	Se devolvió mixer por tardanza del mismo	Se informó vía mail al supervisor de área para evitar futuras demoras y se trasladó el costo del personal en para

Figura 49: Sustento del IP de la Hoja de Producción de Concreto. Fuente:

Elaboración Propia.

5.4. Curvas de Productividad

Para un correcto seguimiento a los ratios obtenidos y para permitir un análisis de la situación actual y propuestas de mejora, que garantizará que finalmente los ratios se cumplirán; realizamos tres mediciones: Al inicio, a la mitad, y al final del proyecto.

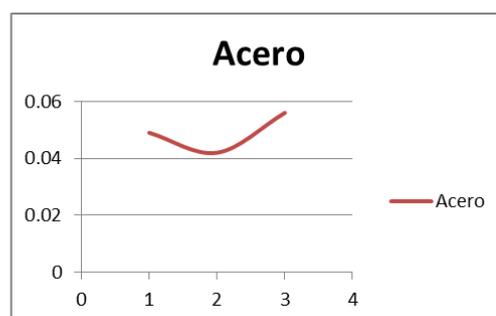
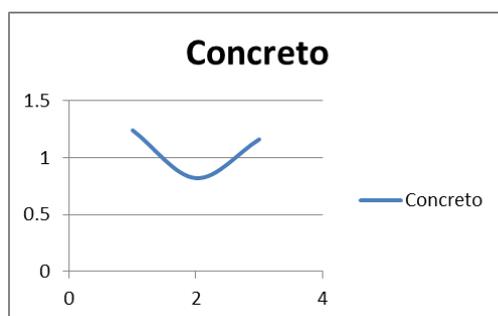
Este análisis nos permite ir corrigiendo los errores que puedan repercutir en los resultados meta que se tienen como proyecto, así mismo al final servirán como Lecciones Aprendidas, las mismas que serán trasladadas a otros equipos en otros proyectos para evitar la repetición de errores.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

5.4.1. Curva de Productividad al Inicio del Proyecto

Cuadro de datos para Curva de Productividad

	RATIO			
	CONCRETO	ENCOFRADO	ACERO	VIGUETAS
SEM 1	1.24	1.04	0.049	0.913
SEM 2	0.82	1.027	0.042	0.745
SEM 3	1.16	1.024	0.056	0.674



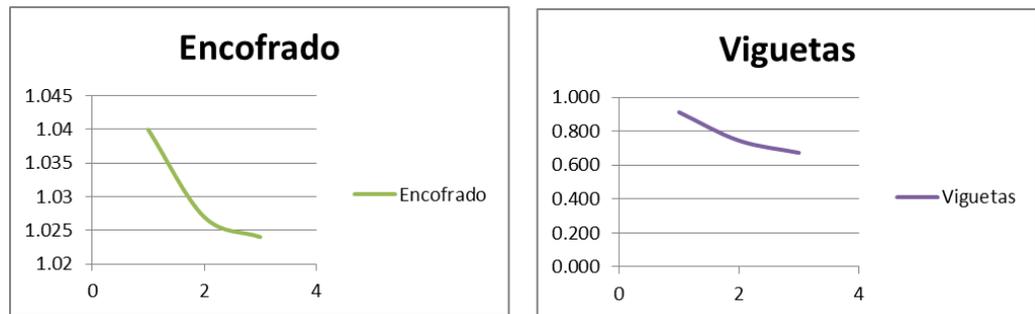


Figura 50: Curvas de Producción para las partidas en las primeras tres semanas. Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2. Curva de Productividad a la Mitad del Proyecto

Cuadro de datos para Curva de Productividad

	RATIO			
	CONCRETO	ENCOFRADO	ACERO	VIGUETAS
SEM 1	1.24	1.04	0.049	0.913
SEM 2	0.82	1.027	0.042	0.745
SEM 3	1.16	1.024	0.056	0.674
SEM 4	1.082	1.07	0.046	0.63
SEM 5	0.975	1.144	0.037	0.507
SEM 6	0.987	1.201	0.035	0.446

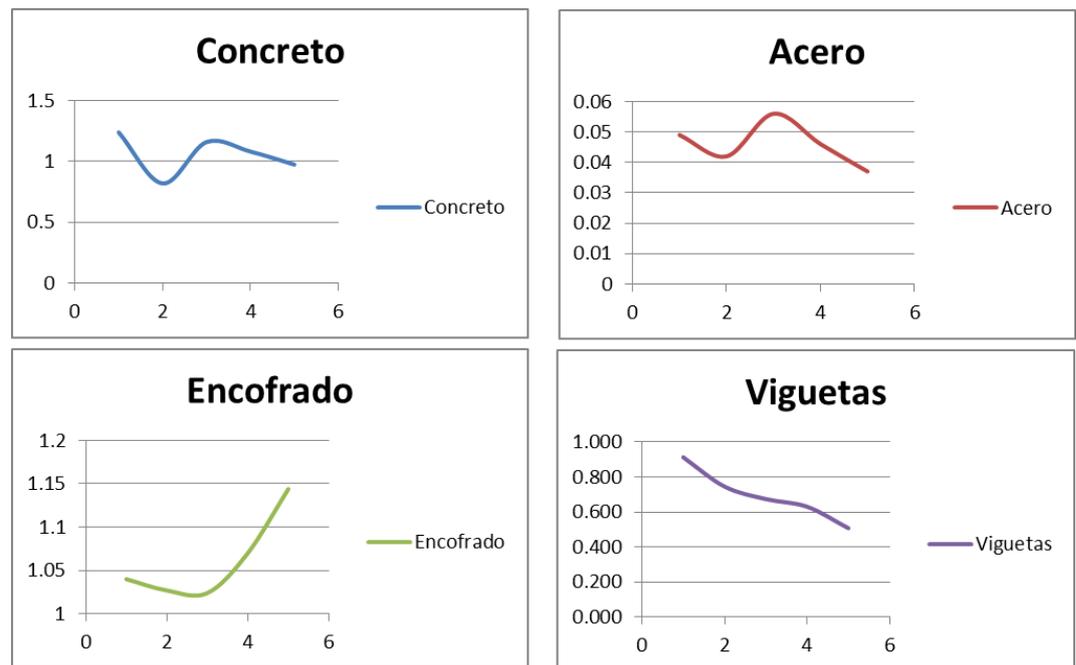


Figura 51: Curvas de Producción para las partidas en las primeras seis

semanas. Fuente: Elaboración Propia.

5.4.3. Curva de Productividad al Final del Proyecto

Cuadro de datos para Curva de Productividad

	RATIO			
	CONCRETO	ENCOFRADO	ACERO	VIGUETAS
SEM 1	1.24	1.125	0.049	0.913
SEM 2	1.14	1.107	0.042	0.745
SEM 3	1.165	1.107	0.056	0.674
SEM 4	1.082	1.07	0.046	0.63
SEM 5	0.975	1.144	0.037	0.507
SEM 6	0.987	1.01	0.035	0.446
SEM 7	0.748	1.037	0.043	0.494
SEM 8	0.648	1.032	0.045	0.45
SEM 9	0.622	1.034	0.057	0.476
SEM 10	0.592	1.269	0.080	0.446
SEM 11	0.92	1.197	0.075	-
SEM 12	0.78	1.208	0.074	-

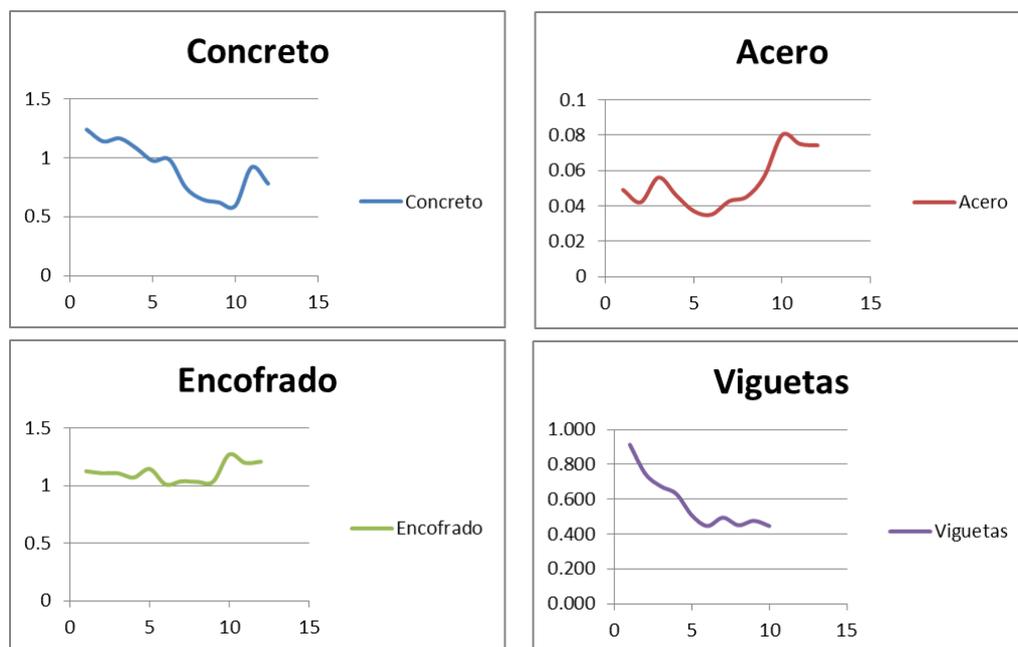


Figura 52: Curvas de Producción para las partidas al final del proyecto. Fuente:

Elaboración Propia.

La curva de aprendizaje es un concepto que se busca emplear en la construcción con el uso de la filosofía Lean, en especial mediante el uso de la sectorización (división del trabajo en cantidades similares) y el tren de actividades (cuadrillas que hagan una sola labor). El uso en conjunto de estas 2 herramientas nos permite lograr un proceso de especialización de los trabajadores en las labores que realizan, incrementando de esa manera la eficiencia de ejecución de los trabajos lo cual se puede apreciar en la medición de rendimientos durante el progreso de la obra. Estos rendimientos por consiguiente deben mejorar durante la duración del proyecto. Como vemos en los resultados obtenidos si hubo una curva de aprendizaje en 2 de las 4 partidas analizadas, mientras que el encofrado se mantuvo a lo largo del proyecto y el acero no dio buenos ratios.

Finalmente podemos observar lo siguiente:

Cuadro de ratios meta vs ratios obtenidos

Partida	Ratio Meta	Ratio Obtenido
Concreto	1.1 HH/m ³	0.969 HH/m ³
Encofrado	1.56 HH/m ²	1.111 HH/m ²
Acero	0.045 HH/kg	0.053 HH/kg

5.5. Sectorización

La Sectorización consiste en dividir una tarea o actividad de la obra en áreas o sectores completados. En cada uno de estos sectores se deberá comprender una parte pequeña de la tarea total. Cada sector deberá comprender un metrado aproximadamente igual y la cantidad de tarea por sector deberá ser realizada en 1 día.

Se inicia el proceso de Sectorización con el metrado de concreto y encofrado, posteriormente se dividen los metrados totales entre la cantidad de sectores propuestos con los que se desea realizar la obra. Segundo, se dibuja el plano de AutoCAD o en Excel y se aproximan los sectores para visualizarlos. Aquí se inicia un proceso de iteración de sectores por el metrado dividido cuyo propósito es buscar la similitud entre el número de celdas de los metrados verticales en cada uno de estos. Tercero, una vez definidos los metrados verticales de los sectores, se busca balancear el metrado de encofrado de horizontales dentro de cada sector: Encofrado de vigas y Encofrado de losas. Cuarto, una vez que las

áreas de encofrado horizontal han sido definidas en cada sector, se elige el área de vaciado horizontal de forma que se busque la mayor equidad posible entre sectores. Si los metrados de los encofrados horizontales difieren mucho entre sectores, se podrá modificar los límites de los sectores modificando los sectores de los verticales, de no cumplirse se regresa al segundo paso e iniciamos el proceso nuevamente,

Para la sectorización, se deberán considerar algunas reglas constructivas y estructurales ⁽¹²⁾:

- Las vigas se encofran totalmente
- Las losas aligeradas se pueden encofrar por partes solo si se respeta que el corte sea en el sentido de las viguetas
- El vaciado de las vigas y los aligerados se pueden partir a los tercios.

En Graña y Montero se considera, adicionalmente a las reglas básicas de cortes, la aprobación por parte del área de Ingeniería de los cortes propuestos en los planos de sectorización. Así como un informe completo de las especificaciones técnicas en los vaciados, que puedan ser considerados por parte de la Supervisión y del Área de Ingeniería del Proyecto.

El estudio llevado a cabo por César Guzman, Edifica ⁽¹²⁾, generó el siguiente procedimiento para la sectorización de proyectos de edificaciones.

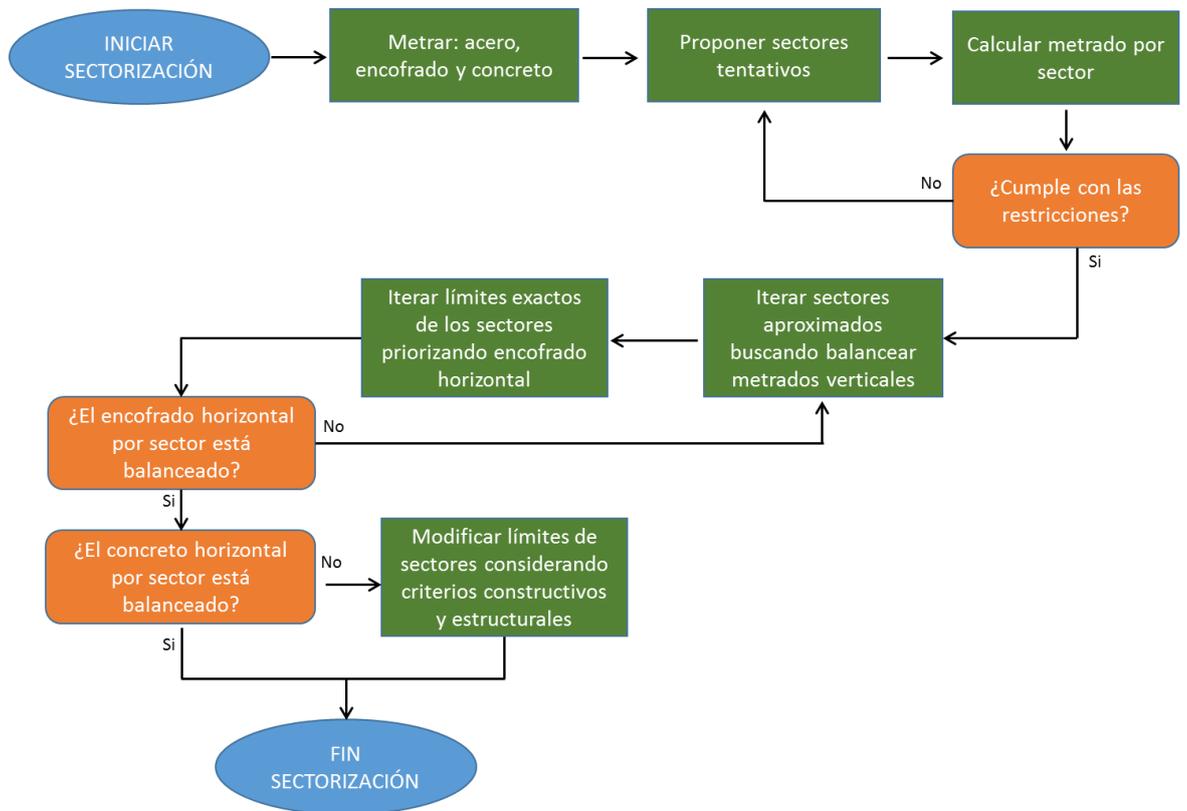


Figura 53: Proceso de sectorización para edificaciones. Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de la obra se dispuso una sectorización inicial de 6 sectores, ya que al escoger un número menor de sectores reduce el tiempo de duración del proyecto, sin embargo hay que tener consideraciones con el proceso constructivo y es por ese motivo que la sectorización se realizó con el número mínimo de sectores posibles según el proceso constructivo.

A continuación se lista las actividades por día siendo las siguientes:

- **Día 1**
 - Acero de Verticales
- **Día 2**
 - Encofrado de verticales: Placas y Columnas
 - Vaciado de Verticales: Placas y Columnas
- **Día 3**
 - Encofrado de fondo más costado de viga
 - Acero de vigas
- **Día 4**
 - Encofrado de costado de viga
 - Encofrado de fondo de losa
 - Colocación de viguetas y bovedillas
 - Instalaciones sanitarias
- **Día 5**
 - Acero de losa
 - Instalaciones eléctricas
- **Día 6**
 - Vaciado de losa

TREN DE 6 SECTORES						
SUPERESTRUCTURA	DIAS					
	1	2	3	4	5	6
ACERO DE VERTICALES	1A	1B	1C	1D	1E	1F
ENCOFRADO DE VERTICALES		1A	1B	1C	1D	1E
CONCRETO DE VERTICALES		1A	1B	1C	1D	1E
ENCOFRADO DE FONDOS Y COSTADOS DE VIGAS			1A	1B	1C	1D
ACERO DE VIGAS			1A	1B	1C	1D
ENCOFRADO DE LOSA + COSTADO DE VIGA				1A	1B	1C
COLOCACIÓN DE VIGUETAS PRETENSADAS				1A	1B	1C
COLOCACION DE LADRILLO BOVEDILLA				1A	1B	1C
COLOCACION DE II.SS				1A	1B	1C
COLOCACION DE II.EE				1A	1B	1C
ACERO DE LOSA				1A	1B	1C
CONCRETO DE LOSA					1A	1B

Figura 54: División de actividades por día. Fuente: Elaboración Propia

La sectorización en 6 resultó ser bastante compleja para ejecutarla en un área de proyecto que era grande y por la figura alargada del mismo y su conexión con el Bloque 3 y 5 no permitirían una adecuada circulación del personal. Se cambió la propuesta a 8 sectores. Posteriormente al salir de la ejecución de sótano e ingresar a la sectorización de torre se recortaron los sectores a 6, esto debido a que el área a trabajar en la torre es considerablemente menor que los sótanos, permitiendo así acelerar el tren de trabajo con 6 sectores.

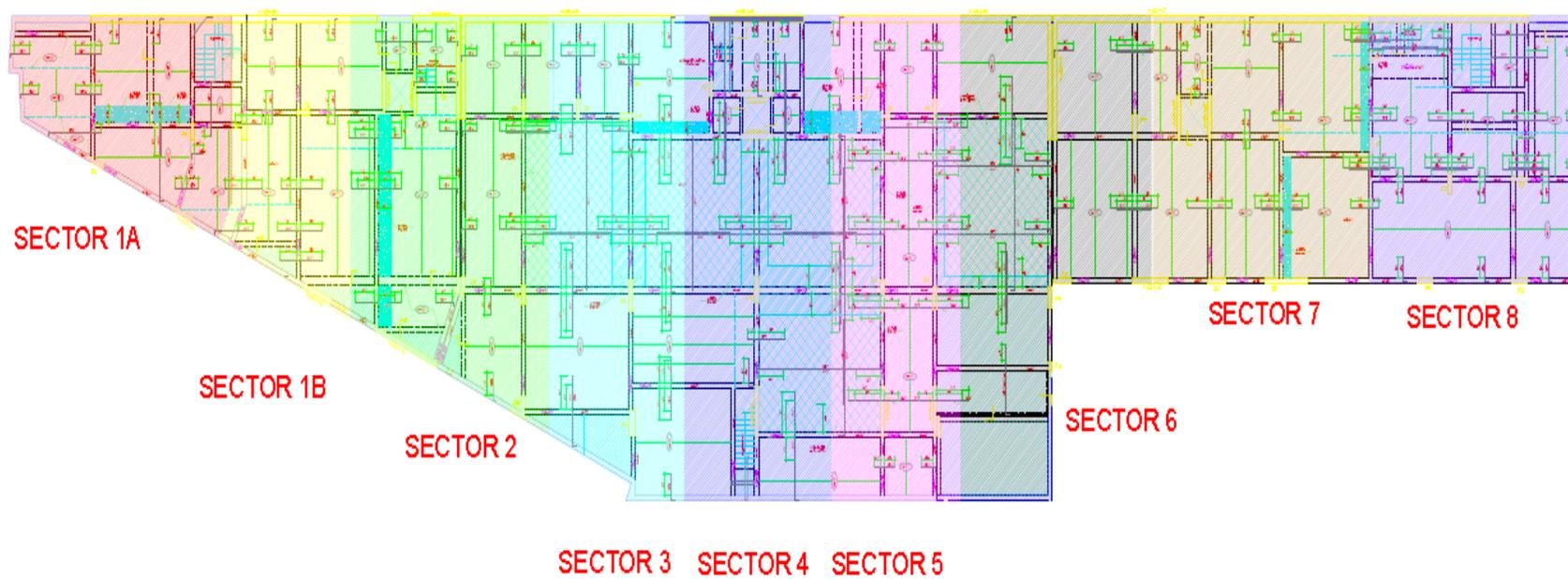


Figura 55: Sectorización en Sótanos. Fuente: Elaboración Propia

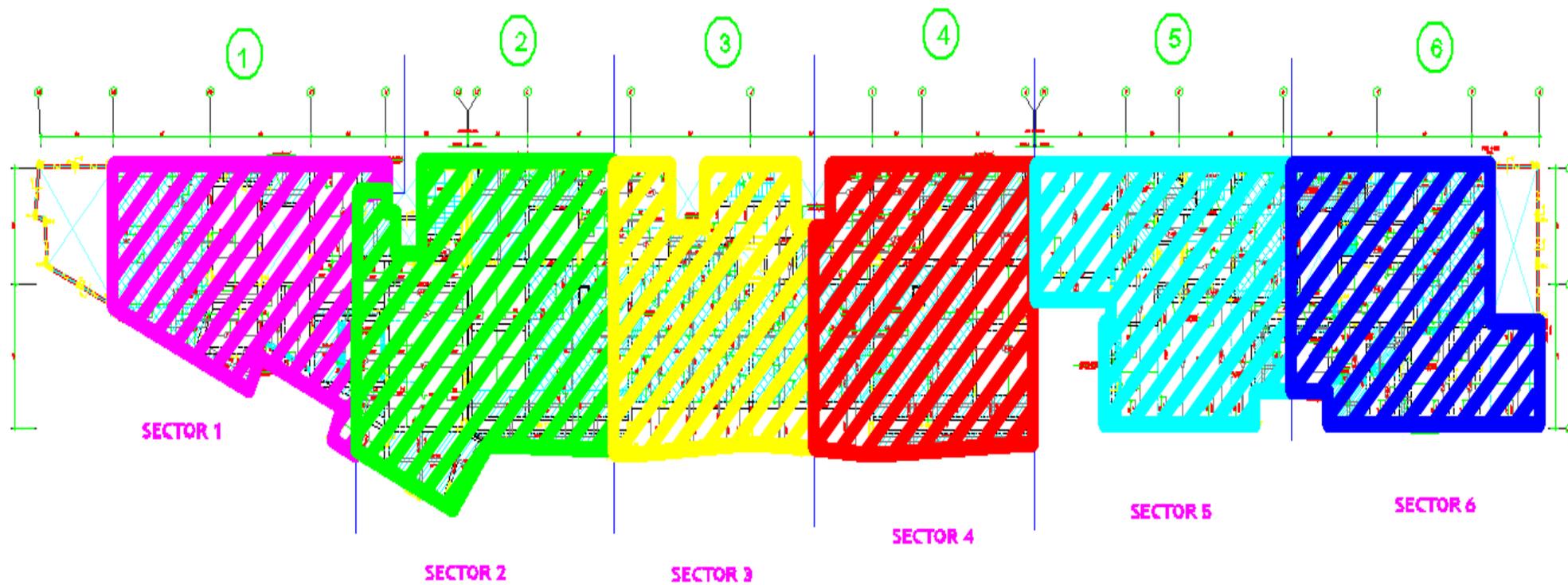


Figura 56: Sectorización en Torre. Fuente: Elaboración Propia



Figura 57: Corte de Vaciado según sectorización. Fuente: Elaboración Propia

5.6. Tren de Actividades

Para el proyecto se aplicó el tren de actividades en todas las partidas que se analizarán en la obra. Entendemos la aplicación del tren de actividades de manera gráfica en la secuencia en los proyectos de edificaciones que fue explicado de forma clara en el siguiente gráfico, producto de la investigación de César Guzmán ⁽¹²⁾

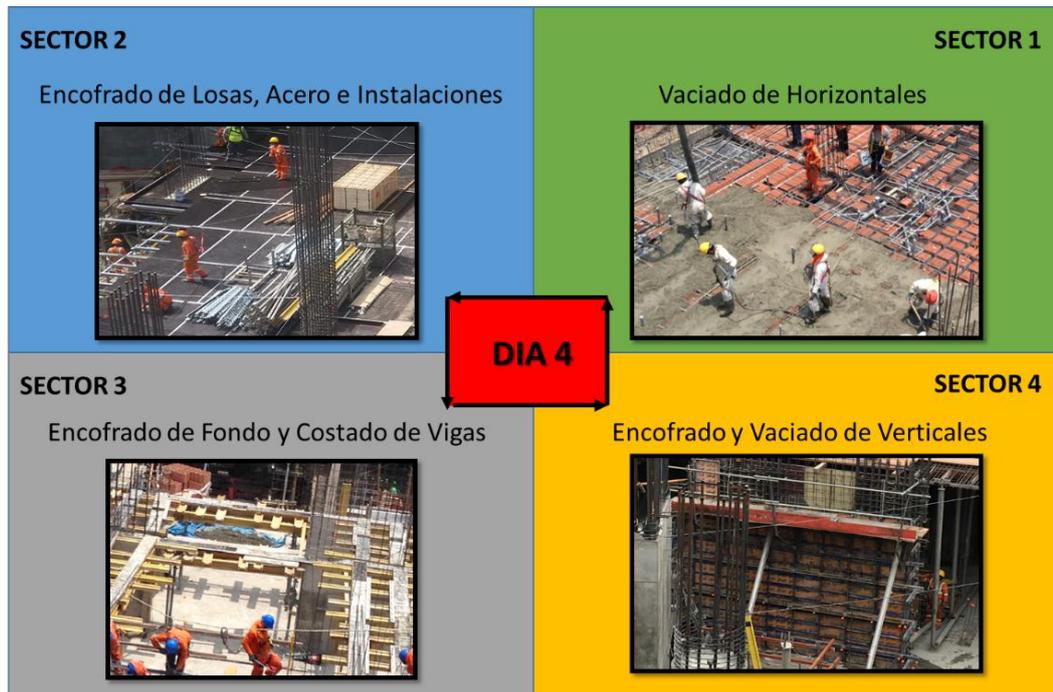


Figura 58: Ejemplo dinámico de Sectorización. Fuente: Edifica⁽¹²⁾

5.7. Dimensionamiento de Cuadrillas

En el método tradicional de la construcción no hay un procedimiento estandarizado que permita dimensionar las cuadrillas, esto por lo general es calculado por el Residente de obra tomando en cuenta las sugerencias del maestro de obra, y finalmente decide el número de obreros a contratar, lo cual podría generar que se tenga un número excesivo de personal en la obra o en otros casos que falte personal y se tengan en algunos casos “horas extras”, por consiguiente los niveles de Trabajo Productivo se reducirán.

Ante estas deficiencias identificadas en el proyecto el dimensionamiento de cuadrillas va de la mano con los lineamientos de la filosofía Lean Construction. En el proyecto el número de obreros por cuadrilla es determinado mediante un análisis matemático a cargo del Ingeniero de Frente en conjunto con los ingenieros de Oficina Técnica.

Para este dimensionamiento se requieren de los siguientes datos:

- Sectorización
- Metrados por sector
- Rendimientos presupuestados

Procedimiento para el Dimensionamiento de Cuadrillas ⁽²¹⁾

- Elegir la partida a dimensionar
- Se establece el número de horas diarias trabajadas
- Calculamos el costo empresa de la HH para tener una idea del ahorro o la pérdida, este dato es solicitado al área de Oficina Técnica (dato corporativo).
- Obtener el rendimiento presupuestado
- Asignar el metrado para cada día laborado, según los sectores
- La cantidad de horas por jornada del día siempre serán el número de personas multiplicado por 8.5 HH (jornada laboral según Régimen de Construcción Civil, sin incluir horas extras por no ser programadas)
- Podemos elaborar una tabla en la cual se tienen las HH diarias y acumuladas, los metrados diarios y acumulados, los rendimientos diarios y acumulados; y el rendimiento presupuestado.

5.7.1. Dimensionamiento Partida Acero

Para la partida de acero el rendimiento presupuestado es de 0.045 hh/kg, para cumplir con ese objetivo asignaremos un total de 12 personas para dicha cuadrilla, con los cuales se obtendría un rendimiento de 0.044 hh/kg y una diferencia de 0.01 hh/kg.

5.7.2. Dimensionamiento Partida Encofrado

Para la partida de encofrado el rendimiento presupuestado es de 1.35 hh/m², para cumplir con ese objetivo asignaremos un total de 24 personas para dicha cuadrilla, con los cuales se obtendría un rendimiento de 1.245 hh/m² y una diferencia de 0.105 hh/m².

5.7.3. Dimensionamiento Partida Concreto

Para la partida de concreto el rendimiento presupuestado es de 1.1 hh/m³, para cumplir con ese objetivo asignaremos un total de 8 personas para dicha cuadrilla, con los cuales se obtendría un rendimiento de 0.099 hh/m³ y una diferencia de 0.101 hh/m³

ACERO																	
Personas	12																
HH Día	8.5																
Día de Obra	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
HH Día	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
HH acum	10353	10455	10557	10659	10761	10863	10965	11067	11169	11271	11373	11475	11577	11679	11781	11883	11985
MET	2322.300	2335.900	2319.400	2351.200	2320.200	2340.200	2355.400	2322.300	2335.900	2319.400	2351.200	2307.700	2320.200	2340.200	2355.400	2322.300	2335.900
MET acum	237971.800	240307.700	242627.100	244978.300	247298.500	249638.700	251994.100	254316.400	256652.300	258971.700	261322.900	263630.600	265950.800	268291.000	270646.400	272968.700	275304.600
Rend diario	0.044	0.044	0.044	0.043	0.044	0.044	0.043	0.044	0.044	0.044	0.043	0.044	0.044	0.044	0.043	0.044	0.044
Rend acum	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.043	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
Rend. Pres	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045

Formación de Cuadrilla	Operario	8
	Oficial	4
	Peón	0
	Total	12

Dif Rend	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	HH/m2
Dif HH	390.786	394.095	398.088	400.5915	403.707	HH
Dif Soles	7229.541	7290.7575	7364.628	7410.94275	7468.5795	S/.

Figura 59: Dimensionamiento para cuadrilla de acero. Fuente: Elaboración Propia

ENCOFRADO																	
Personas	24																
HH Dia	8.5																
Día de Obra	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	
HH Dia	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	
HH acum	23460	23664	23868	24072	24276	24480	24684	24888	25092	25296	25500	25704	25908	26112	26316	26520	
MET	160.110	135.900	129.800	145.500	102.000	114.900	117.780	110.660	93.540	162.020	144.900	163.200	160.110	155.900	169.850	165.900	
MET acum	18065.530	18201.430	18331.230	18476.730	18578.730	18693.630	18811.410	18922.070	19015.610	19177.630	19322.530	19485.730	19645.840	19801.740	19971.590	20137.490	
Rend diario	1.274	1.501	1.572	1.402	2.000	1.775	1.732	1.843	2.181	1.259	1.408	1.250	1.274	1.309	1.201	1.230	
Rend acum	1.280	1.390	1.481	1.442	1.721	1.748	1.740	1.792	1.986	1.623	1.515	1.383	1.328	1.318	1.260	1.245	
Rend. Pres	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	

Formación de Cuadrilla	Operario	12
	Oficial	6
	Peón	6
	Total	24

Dif Rend	-0.033	0.022	0.032	0.090	0.105	HH/m2
Dif HH	601.7355	613.884	620.349	645.6465	665.6115	HH
Dif Soles	11132.107	11356.854	11476.457	11944.46	12313.813	S/.

Figura 60: Dimensionamiento para cuadrilla de encofrado. Fuente: Elaboración Propia

CONCRETO																
Personas	8															
HH Dia	8.5															
Día de Obra	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
HH Dia	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
HH acum	7540	7608	7676	7744	7812	7880	7948	8016	8084	8152	8220	8288	8356	8424	8492	8560
MET	70.210	70.500	74.500	64.220	61.300	70.300	62.173	60.210	62.600	60.500	54.500	65.220	61.300	60.300	72.230	70.210
MET acum	7273.840	7344.340	7418.840	7483.060	7544.360	7614.660	7676.833	7737.043	7799.643	7860.143	7914.643	7979.863	8041.163	8101.463	8173.693	8243.903
Rend diario	0.969	0.965	0.913	1.059	1.109	0.967	1.094	1.129	1.086	1.124	1.248	1.043	1.109	1.128	0.941	0.969
Rend acum	0.972	0.968	0.941	1.000	1.055	1.011	1.052	1.091	1.089	1.106	1.177	1.110	1.110	1.119	1.030	0.999
Rend. Pres	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100

Formación de Cuadrilla	Operario	2
	Oficial	4
	Peón	2
	Total	8

Dif Rend	-0.010	-0.010	-0.019	0.070	0.101	HH/m2
Dif HH	489.8493	489.2793	487.6093	499.0623	508.2933	HH
Dif Soles	9062.2121	9051.6671	9020.7721	9232.6526	9403.4261	\$/.

Figura 61: Dimensionamiento para cuadrilla de concreto. Fuente: Elaboración Propia

5.8. Cartas Balance

La carta de balance es también llamada la carta de equilibrio de cuadrilla, es un gráfico que mide el tiempo en minutos (aproximadamente 30 minutos) en función a los recursos (mano de obra, equipos, etc.) que participan en la actividad estudiada. Los recursos son representados por barras las cuales se subdividen en el tiempo según la secuencia de actividades considerando también los tiempos improductivos. Estas mediciones nos ayudarán a tener clara la secuencia constructiva empleada para poder después poder optimizar el proceso que se está analizando.

El gráfico nos muestra en la ordenada el tiempo en minutos y en la abscisa los recursos de la partida analizada, y los diferentes tipos de actividades dentro de la operación.

Una definición del objetivo de las Cartas de Balance lo describe claramente Serpell ⁽¹⁴⁾ con la siguiente frase:

“El objetivo de esta técnica es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, más que la eficiencia de los obreros, de modo que no se pretende conseguir que trabajen más duro, sino en forma más inteligente.”

Serpell resume claramente el objetivo de este trabajo, no es presionar a los obreros para que trabajen más duro y cumplan con actividades que no le corresponden, sino es llevar los procedimientos o formas de trabajo a niveles más eficientes de tiempo y de dinero. Para poder mejorar la eficiencia de la cuadrilla se pueden

hacer tres cosas: Reasignar tareas entre sus miembros, modificar el tamaño de la cuadrilla o implementar algún cambio tecnológico que modifique considerablemente todo el proceso constructivo para poder obtener mejor eficiencia en todo el proceso de la actividad analizada. Todo ello con el objetivo de aumentar el Trabajo Productivo y disminuir los Trabajos contributorios y no contributorios

Procedimiento

- Elegir correctamente el proceso a analizar
- Analizar la actividad para identificar los trabajos productivos y contributorios propios de la partida, este análisis se hace por la línea de mando en conjunto con los capataces quienes tienen la experiencia de haber visto el proceso constructivo en varias obras. Asignar a cada actividad un número para facilitar la toma de datos
- Preparar el registro para la actividad, identificar y nombrar a cada integrante de la partida.
- Realizar las mediciones de la actividad

Para las mediciones en campo deben completarse un total de 384 mediciones como mínimo para obtener resultados estadísticamente correctos, según los estudios de Serpell⁽¹⁶⁾.

Partida: Encofrado de Losa			
Cargo	Nombre	Cargo	Nombre
Operario	Lopez	Oficial	Aburto
Operario	Velazques	Oficial	Flores
Operario	Uribe	Ayudante	Ramos
Operario	Nuñez	Ayudante	Vera

Obra	El Nuevo Rancho
Frente	01
Actividad	Encofrado de Losa
Descripción	Losa Sótano 1
Fecha	04/01/16

TRABAJO PRODUCTIVO		TRABAJO CONTRIBUTORIO		TRABAJO NO CONTRIBUTORIO	
1	Colocación de encofrado	1	Lectura de Planos e instrucciones	1	Esperas
2	Colocación de paneles de encofrado	2	Preparación de material a usar	2	Descansos
3	Aplomado	3	Transporte de material	3	Simulación de trabajo
4	Nivelado	4	Colocación de vigas de soporte	4	Retrabajos
		5	Colocación de puntales + trípodes	5	Viajes
		6	Amarrado	6	Búsqueda de material
		7	Desencofrado		
		8	Mediciones		
		9	Seguridad		
		10	Topes		

Figura 62: Formato de Registro de datos de Cartas de Balance de Encofrado. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Partida: Acero de Vigas			
Cargo	Nombre	Cargo	Nombre
Operario	Aruhuanca	Operario	Rodriguez
Operario	Cosme	Oficial	Monsefu
Operario	Velez		

Obra	El Nuevo Rancho
Frente	01
Actividad	Acero de Vigas
Descripción	Acero Vigas Piso 1
Fecha	10/01/16

TRABAJO PRODUCTIVO		TRABAJO CONTRIBUTORIO		TRABAJO NO CONTRIBUTORIO	
1	Colocación de acero	1	Lectura de Planos e instrucciones	1	Esperas
2	Amarre de acero	2	Preparación de material a usar	2	Descansos
3	Colocación de tacos	3	Transporte de material	3	Simulación de trabajo
		4	Completar andamios	4	Retrabajos
		5	Mediciones	5	Viajes
		6	Seguridad	6	Búsqueda de material
		7	Marcado de guía para estribaje		

Figura 63: Formato de Registro de datos de Cartas de Balance de Acero. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

Partida: Vaciado de Concreto			
Cargo	Nombre	Cargo	Nombre
Operario	Vicuña	Oficial	Sulca
Ayudante	Oliveros		

Obra	El Nuevo Rancho
Frente	01
Actividad	Vaciado de Verticales
Descripción	Sector 6 Piso 4
Fecha	08/02/16

TRABAJO PRODUCTIVO		TRABAJO CONTRIBUTORIO		TRABAJO NO CONTRIBUTORIO	
1	Vaciado de concreto	1	Habilitación de accesos	1	Esperas
2	Vibrado de concreto	2	Amarre de estribos	2	Descansos
		3	Traslado de herramientas	3	Búsqueda de material
		4	Aplome de encofrado	4	Retrabajos

Figura 64: Formato de Registro de datos de Cartas de Balance de Vaciado de Concreto. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración

Propia

En la plantilla mostrada en la Figura 65 se tienen las siguientes consideraciones:

- Se analizaron 10 obreras de la cuadrilla de encofrado de losa
- Los intervalos de tiempos considerados son de 1 minuto, y están expresados en la columna izquierda
- Las actividades están contenidas en las tres tablas a la derecha, para facilitar la visualización. Se asignó el número a cada actividad para facilitar la anotación al momento de la toma de datos

Debemos ubicar el lugar de toma de datos previamente, si se deciden utilizar equipamiento electrónico, debe verificarse su correcto funcionamiento y tomarse las medidas necesarias para asegurar la continuidad de la medición durante el intervalo de tiempo seleccionado.

Fecha:		12/01/2016						
Cuadrilla	Operario:	Operario:	Operario:	Operario:	Oficial:	Oficial:	Ayudante	Ayudante
Tiempo	Lopez	Velazques	Uribe	Nuñez	Aburto	Flores	: Ramos	: Vera
1.00	1	1	2	4	2	3	7	7
2.00	1	1	2	4	2	3	7	7
3.00	1	1	2	4	2	3	7	7
4.00	1	1	2	4	2	3	7	7
5.00	1	1	2	4	2	3	7	7
6.00	1	1	2	4	2	3	12	7
7.00	1	1	2	15	2	3	12	7
8.00	1	1	2	15	2	3	12	7
9.00	1	16	2	15	2	3	7	7
10.00	1	16	2	4	2	3	7	7
11.00	1	16	2	4	2	3	7	7
12.00	1	16	2	4	2	3	7	7
13.00	1	16	2	5	2	3	7	7
14.00	1	6	2	5	7	3	7	7
15.00	1	6	2	5	7	3	7	7
16.00	15	6	2	5	7	10	7	7
17.00	15	6	2	4	7	10	3	12
18.00	15	6	2	4	7	3	3	12
19.00	1	1	2	15	7	3	3	12
20.00	1	1	2	15	2	3	7	10
21.00	1	1	2	15	2	3	7	10
22.00	1	1	2	4	2	3	7	10
23.00	1	1	18	4	2	3	7	10
24.00	1	1	18	4	2	3	7	10
25.00	1	1	18	4	2	3	7	10
26.00	1	1	18	4	2	3	7	7
27.00	1	1	18	4	2	3	12	7
28.00	1	1	18	4	2	3	12	7
29.00	1	1	2	4	2	3	12	16
30.00	1	1	2	4	2	3	7	16

TRABAJO PRODUCTIVO

1	Colocación de encofrado
2	Colocación de paneles de encofrado
3	Aplomado
4	Nivelado

TRABAJO CONTRIBUTORIO

5	Lectura de Planos e instrucciones
6	Preparación de material a usar
7	Transporte de material
8	Colocación de vigas de soporte
9	Colocación de puntales + trípodes
10	Amarrado
11	Desencofrado
12	Mediciones
13	Seguridad
14	Topes

TRABAJO NO CONTRIBUTORIO

15	Esperas
16	Descansos
17	Simulación de trabajo
18	Retrabajos
19	Viajes
20	Búsqueda de material

Figura 65: Formato de Cartas de Balance. Fuente: Elaboración Propia

Toma de Datos

Una vez definidas las actividades y la cuadrilla que se analizará se inicia con la toma de los datos. Esta metodología consiste en tomar nota de cómo emplea el tiempo cada integrante de la cuadrilla minuto a minuto durante 30 minutos. Dependiendo de cada proyecto pueden usarse cámaras fotográficas o cámaras de video, o la asignación de una persona que realice las mediciones. Posterior a la toma de datos se evaluarán los resultados y se plantearán posibles mejoras.

Resultados Generales

Los resultados generales de las mediciones de los trabajos productivos, contributorios y no contributorios fueron los siguientes: la sumatoria de mediciones es 390 unidades medidas en el cuadro anterior que se distribuyen en , 239 unidades medidas de trabajo productivo, 118 unidades medidas de trabajo contributorio y 33 unidades medidas de trabajo no contributorio, lo que se traduce en porcentajes de la siguiente manera: 61% de trabajo productivo, 30% de trabajo contributorio y 9% de trabajo no contributorio como se muestra en la figura. Si bien los resultados muestran un porcentaje aceptable, el trabajo contributorio se nota elevado lo que afecta directamente el trabajo productivo con un porcentaje menor al deseado.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributorio	Trabajo No Contributorio	TOTAL
Mediciones	239	118	33	390
Porcentaje	61.28%	30.26%	8.46%	100%

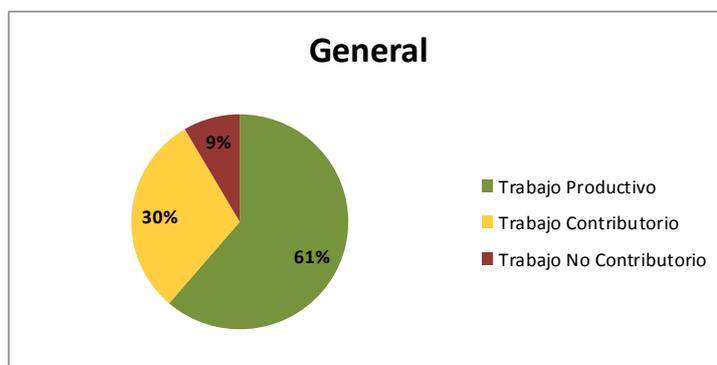


Figura 66: Nivel de Actividad de la Cuadrilla. Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestran los resultados de cómo se divide cada tipo de trabajo, productivo, contributorio y no contributorio.

- El trabajo productivo se divide según lo muestra el gráfico: un 36.82% del trabajo productivo corresponde al encofrado de elementos, un 37.66% al encofrado con paneles, un 10.46% al aplomado y un 15.06% al nivelado.

	Encofrado	Paneles de Encofrado	Aplomado	Nivelado	TOTAL
Mediciones	88	90	25	36	239
Porcentaje	36.82%	37.66%	10.46%	15.06%	100%

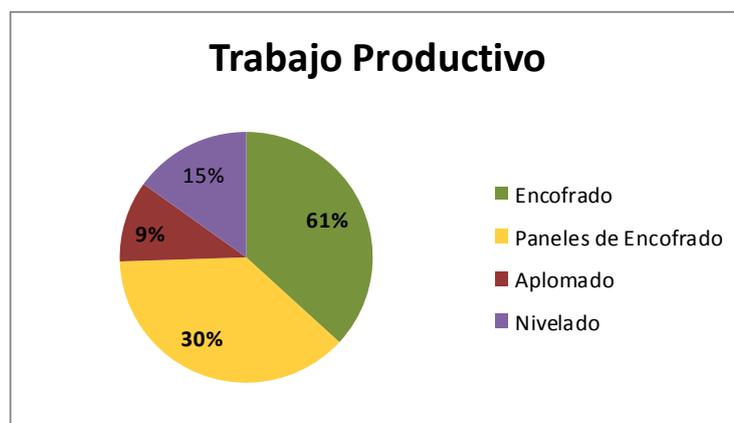


Figura 67: Distribución del trabajo productivo. Fuente: Elaboración Propia

- Los resultados del trabajo contributivo de todo el grupo se dividen según el gráfico y muestran un 22.03% de lectura de planos, un 29.66% en la preparación del material, un 22.03% en transportar los materiales, un 26.27% en la colocación de vigas soporte, un 9.32% en colocación de puntales y trípodes, un 4.24% en el amarrado, un 4.24% en mediciones y un 5.93% en instalaciones de seguridad.

	Planos	Preparación	Transporte	Vigas Soporte	Puntales	Amarrado	Desdencofrado	Mediciones	Seguridad	Topes	TOTAL
Mediciones	26	35	26	31	11	5		5	7		118
Porcentaje	22.03%	29.66%	22.03%	26.27%	9.32%	4.24%	0.00%	4.24%	5.93%	0.00%	124%

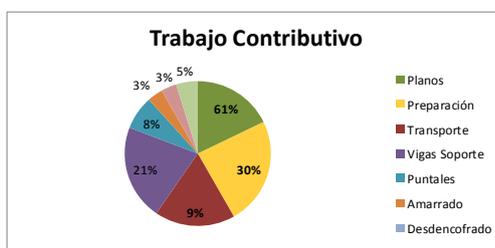


Figura 68: Distribución del trabajo contributivo. Fuente: Elaboración Propia

- El trabajo NO contributivo se divide según la figura de la siguiente manera: 36.36% en esperas, 15.15% en descansos, 9.09% en retrabajos, 18.18% en viajes y 21.21% en búsqueda de material. En los viajes se entiendes en los viajes para ir al baño o para recoger cualquier herramienta o material o plano que se requiera para continuar con la actividad. Las esperas son los tiempos cuando no se puede continuar con la actividad por distintos motivos, puede ser que alguien requiera pasar por el lugar, o se solicite llenar algún documento, o la espera para que traigan material, etc.

	Espera	Descanso	Simulación	Retrabajos	Viajes	Buscar mat	TOTAL
Mediciones	12	5		3	6	7	33
Porcentaje	36.36%	15.15%	0.00%	9.09%	18.18%	21.21%	100%

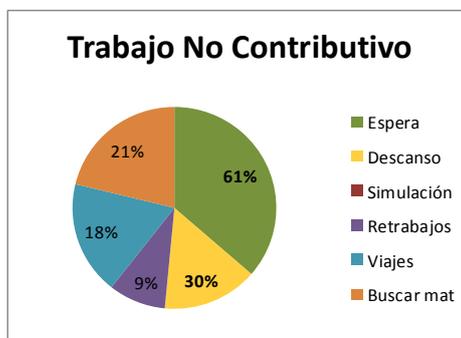


Figura 69: Distribución del trabajo no contributivo. Fuente: Elaboración Propia

Luego de presentar los resultados del trabajo productivo, contributorio y no contributorio de manera grupal, toca presentar los resultados de forma individual. Es decir cómo se distribuye el trabajo en cada miembro de la cuadrilla de 4 operarios 2 oficiales y 2 ayudantes.

- El operario López como se muestra en el gráfico realiza netamente trabajo productivo y lapsos de trabajo NO contributorio. Este es uno de los operarios que realiza el encofrado de vigas.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	27	3	0	30
Porcentaje	90.00%	10.00%	0.00%	100%

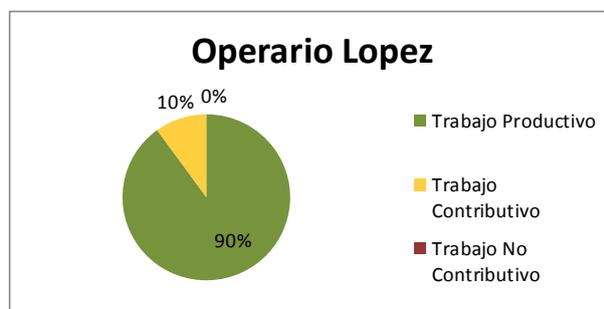


Figura 70: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario López. Fuente:

Elaboración Propia

- El operario Velásquez distribuye su tiempo según se muestra el gráfico, dedica mayormente su tiempo al trabajo productivo, es decir a la actividad del encofrado de fondo de losa y también trabajo contributivo en la preparación de material (recortes) y una pequeña parte al trabajo no contributivo que corresponden al igual que López en las esperas.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	20	5	5	30
Porcentaje	66.67%	16.67%	16.67%	100%

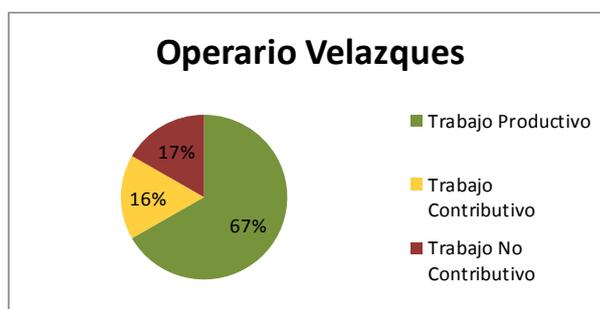


Figura 71: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Velásquez.

Fuente: Elaboración Propia

- El operario Uribe uso su tiempo distribuye como muestra la figura, su tiempo en trabajo productivo con tiempos de re trabajo en la corrección de una zona del encofrado.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	24	0	6	30
Porcentaje	80.00%	0.00%	20.00%	100%

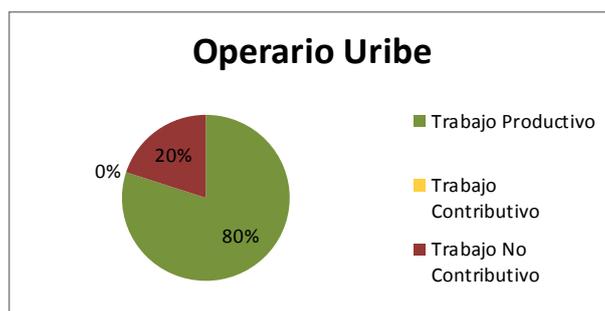


Figura 72: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Uribe. Fuente:

Elaboración Propia

- El operario Núñez distribuye su tiempo según se muestra el grafico, dedica mayormente su tiempo al trabajo productivo, es decir a la actividad del nivelado y también trabajo contributivo en la lectura de planos y una pequeña parte al trabajo no contributorio que corresponde a los tiempos de espera necesarios en la actividad de nivelado.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	20	4	6	30
Porcentaje	66.67%	13.33%	20.00%	100%

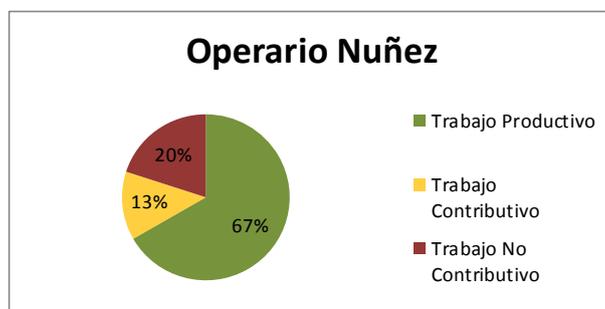


Figura 73: Resultados de la ocupación de tiempo del Operario Nuñez. Fuente:

Elaboración Propia

- El oficial Aburto distribuye su tiempo según se muestra el gráfico, dedica mayormente su tiempo al trabajo productivo, es decir a la actividad encofrado de losa y también realizó trabajo contributivo al apoyar en el transporte de las planchas de encofrado.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	24	6	0	30
Porcentaje	80.00%	20.00%	0.00%	100%

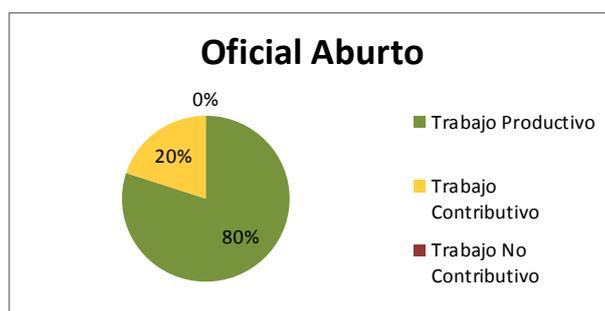


Figura 74: Resultados de la ocupación de tiempo del Oficial Aburto. Fuente:

Elaboración Propia

- El oficial Flores distribuye su tiempo según se muestra el gráfico, dedica mayormente su tiempo al trabajo productivo, es decir a la actividad de aplomado y también realizó trabajo contributivo realizar el amarrado de las zonas de trabajo.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	28	2	0	30
Porcentaje	93.33%	6.67%	0.00%	100%

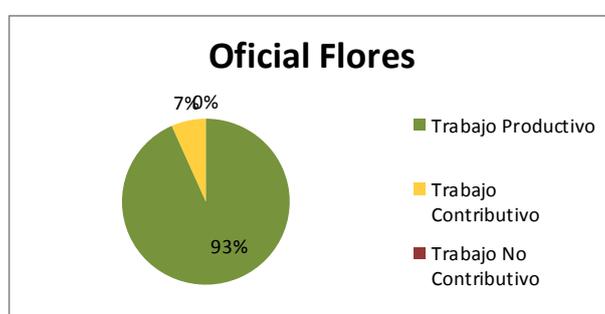


Figura 75: Resultados de la ocupación de tiempo del Oficial Flores. Fuente:

Elaboración Propia

- El ayudante Ramos distribuye su tiempo según se muestra el gráfico, dedica mayormente su tiempo al trabajo contributivo, es decir a la actividad del transporte del material hacia los operarios. Aquí observamos que realizó trabajo productivo en menor porcentaje, lo que suele darse en las cuadrillas especializadas, donde los ayudantes y oficiales realizan trabajo productivo a modo de aprendizaje.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	3	27	0	30
Porcentaje	10.00%	90.00%	0.00%	100%

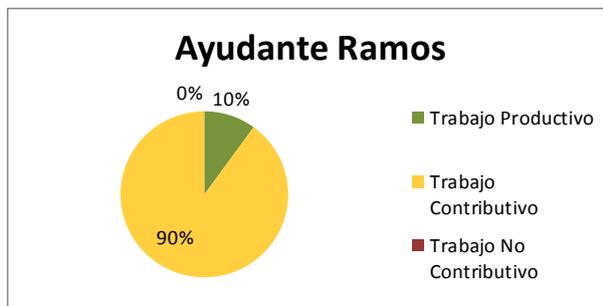


Figura 76: Resultados de la ocupación de tiempo del Ayudante Ramos. Fuente:

Elaboración Propia

- El ayudante Vera distribuye su tiempo según se muestra el gráfico, dedica mayormente su tiempo al trabajo contributivo, es decir a la actividad del transporte del material hacia los operarios, así también realiza mediciones de los materiales necesarios y amarrado de los mismos. El gráfico también arroja un tiempo de descanso del ayudante

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo	TOTAL
Mediciones	2	26	2	30
Porcentaje	6.67%	86.67%	6.67%	100%

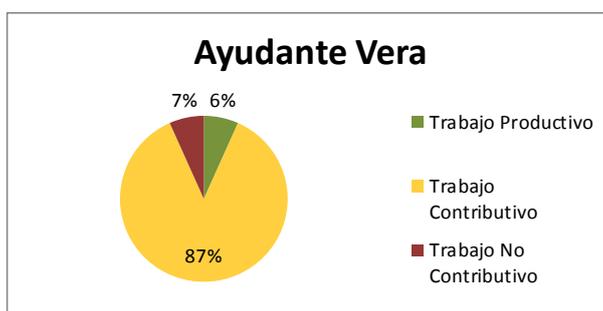


Figura 77: Resultados de la ocupación de tiempo del Ayudante Vera. Fuente:

Elaboración Propia

Realizaremos la comparativa de los niveles de productividad encontrados en el proyecto realizando el paralelo con las mediciones de:

1. La publicación del Ing. Virgilio Ghio ⁽³⁾ en la cual se hizo un estudio del estado de la construcción en Lima analizando 50 obras de la capital: Se obtuvieron los valores mostrados en el grafico (TP = 28%, TC = 36% y TNC = 36%).

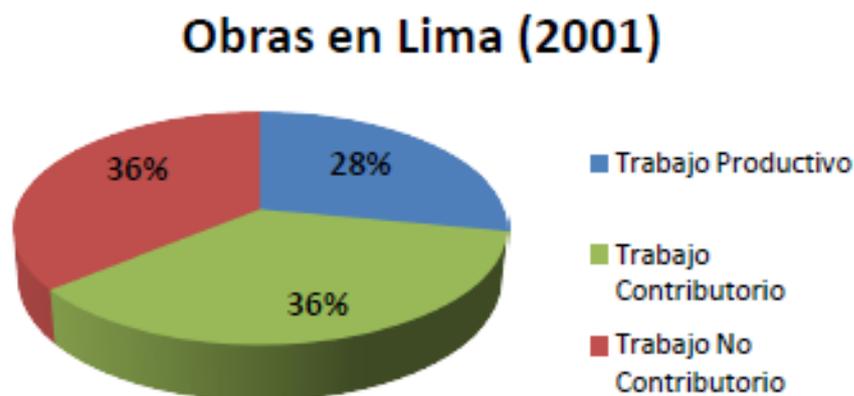


Figura 78: Estadística publicada por Virgilio Ghio sobre 50 obras en Lima ⁽³⁾

2. Las mediciones que se realizaron en una tesis en Lima ⁽¹⁹⁾: Se obtuvieron los valores mostrados en el grafico (TP = 32%, TC = 43% y TNC = 25%).

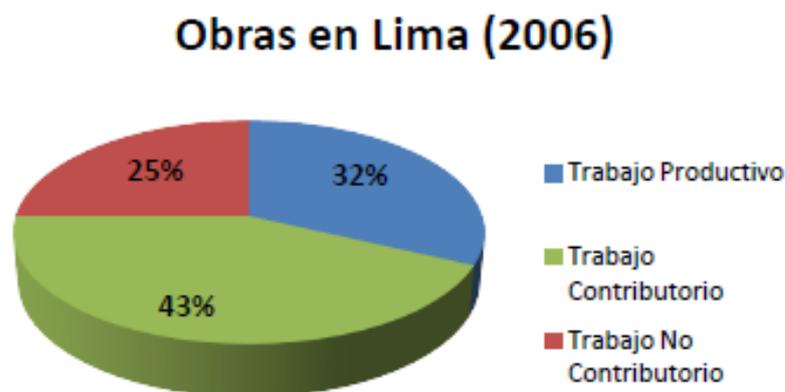


Figura 79: Estadística publicada en tesis de pre-grado PUCP, 2006 ⁽¹⁹⁾

Frente a las mediciones, las obtenidas en el proyecto fueron mostrados en el grafico (TP = 61%, TC = 30% y TNC = 9%). Y observamos que el nivel de trabajo no contributorio obtenido en nuestro proyecto (TNC=9%) es menor que el promedio de las mediciones realizadas anteriormente, lo cual también ocurre con el trabajo contributorio (TC=30%), lo que repercute en un promedio alto de trabajo productivo.

Realizando una comparativa con mediciones más actuales podemos comparar los valores obtenidos con las mediciones de:

- Los valores medidos en un proyecto en Lima el 2014, estudio hecho por el Ing. Mariano Vilca, los resultados son TP = 59%, TC = 32% y TNC = 96%.⁽²²⁾
- Los valores promedio en 5 proyectos, estudio hecho por el Ing. Jairo Álvarez, en Chile, país que lleva aplicando la filosofía Lean por varios años más que en nuestro país, los resultados son TP = 60%, TC = 34% y TNC = 6%.⁽²³⁾

5.9.Control de Calidad

Al finalizar un proyecto se entrega al cliente un Dossier de Calidad que contiene todos los protocolos de obra así como certificaciones y garantías que puedan darse durante toda la ejecución del proyecto.

Como parte de las labores del equipo de producción está el seguimiento del cumplimiento de calidad de cada elemento que forma parte del proyecto. Es así que al iniciar un proyecto se acuerdan los protocolos a utilizar y se procede a liberar cada actividad de forma diaria, los protocolos son archivados para posteriores auditorías internas y/o externas.

5.9.1. Control de Concreto

En el caso del concreto, se dispone de una tabla interactiva donde se hace el seguimiento de la rotura de probetas, proyectando resultados a 28 días y generando alertas en caso de que las resistencias estén por debajo de la de diseño.

Cada Ingeniero de Frente es el encargado de hacer el seguimiento necesario de las roturas de probetas e informar del mismo al responsable del área de calidad que haya sido asignado al proyecto.

a) Hoja de Control de Concreto

En esta hoja interactiva de Excel, se ingresan todos los datos referentes al concreto usado para vaciar cada elemento:

- Elemento a vaciar

Nos permite identificar con mayor facilidad los elementos vaciados con determinado concreto al momento de recibir los resultados de rotura.

- Número y Guía de Mixer

En caso de existir un problema en el concreto al momento de la rotura. El contratista, en este caso Mixercon, solicitará el número de mixer como punto de inicio para investigar el porqué del error.

- **Tipo de Elemento y Frente**

Se identifica el tipo de elemento y frente para su fácil ubicación dentro de los muchos elementos que se puedan vaciar durante un día en el proyecto.

- **Slump de concreto**

Esta información es tomada por el probetero, quien es el obrero encargado de la revisión del concreto al momento de llegar a obra, este personal está capacitado para realizar la toma de probetas así como su mantenimiento y codificación para la rotura. Esta también capacitado para la realización del ensayo del cono de Abrams para verificar que el slump solicitado es el mismo que llega a obra.

- **Hora de Salida de Planta y Llegada a Obra**

Esta información es importante, puesto que parte del servicio del contratista es proveer un concreto de acuerdo a las especificaciones solicitadas, el mismo que va a tener una trabajabilidad de 3 horas desde su salida de planta, para asegurar que el concreto empleado mantenga sus propiedades es importante contar con esta información, en caso de retrasos en obra que limiten el inicio del vaciado.

- **Volumen empleado**

Este dato es obtenido de la guía de remisión, es el concreto que llega a obra en cada uno de los mixers, de acuerdo al pedido solicitado

- **Hora de Inicio y Fin de vaciado**

Es importante tomar los datos del tiempo de vaciado para monitorear la trabajabilidad del concreto al momento del vaciado en caso de presentarse más adelante observaciones al mismo.

- **Número de Probetas a analizar**

Es el número de probetas extraídas y de qué mixer fueron tomadas.

- **Temperatura del Concreto**

Se midió la temperatura del concreto por petición del área de calidad, esto debido a que los vaciados se dieron en época de verano.

b) Hoja de Control de Rotura de probetas

Al momento del vaciado, se extraen las probetas, las mismas que son codificadas y se envían para su rotura. En esta hoja interactiva de Excel, se ingresan todos los datos referentes al concreto usado para vaciar cada elemento:

- **Código de Probeta**

Al momento de tomar los moldes, se codifican de acuerdo al elemento vaciado y a la cantidad de probetas requeridas.

- **Estructura**

Se identifica la estructura que fue vaciada y que tiene correlación con la codificación

- **Ubicación**

Se toman los datos de los ejes donde se encuentra ubicada la estructura, así como el frente al que pertenece y el sector asignado.

- **Fecha de Molde y Rotura**

Estos datos son importantes ya que permite programar las roturas a 7 y 28 días de acuerdo a la fecha de moldeo.

- **Datos de probeta**

Estos datos corresponden al diámetro del molde extraído y de la resistencia obtenida luego de la rotura

- **Estado**

Finalmente con los datos obtenidos y promediados se obtiene la resistencia final y si la misma “Cumple” o “No Cumple”



UMEN TEORICO														
FECHA	ELEMENTO VACIADO	Nº Mixer	GUIA-MIXER	TIPO E	Frente	F'c	Hora de salida de planta	Hora de llegada a obra	SLUMP	Volumen empleado	INICIO	FIN	PROBETAS	TEMPERATURA
11/02/2016	LOSA	152	208255	EH	1	210	12:00:00 p.m.	01:00:00 p.m.	6	8.00	01:28:00 p.m.	01:36:00 p.m.	0	32.80
11/02/2016	LOSA	1,033	0-70575	EH	1	210	12:35:00 p.m.	01:35:00 p.m.	6	8.00	02:48:00 p.m.	02:04:00 p.m.	4	33.20
11/02/2016	LOSA	1,025	208262	EH	1	210	01:45:00 p.m.	02:20:00 p.m.	6	7.00	02:27:00 p.m.	02:40:00 p.m.	0	33.00
11/02/2016	PLACA	1,060	008154	EV	1	210	02:20:00 p.m.	02:55:00 p.m.	6	8.00	02:58:00 p.m.	04:48:00 p.m.	4	33.80
11/02/2016	PLACA	177	208269	EV	1	210	03:15:00 p.m.	03:20:00 p.m.	6	8.00	04:52:00 p.m.	05:21:00 p.m.	0	31.70
12/02/2016	LOSA	1,045	070624	EH	1	210	12:05:00 p.m.	12:40:00 p.m.	6	8.00	01:19:00 p.m.	01:30:00 p.m.	0	33.60
12/02/2016	LOSA	1,073	208309	EH	1	210	12:35:00 p.m.	01:30:00 p.m.	6	8.00	01:47:00 p.m.	02:00:00 p.m.	4	33.10
12/02/2016	LOSA	1,040	208313	EH	1	210	01:30:00 p.m.	02:10:00 p.m.	6	8.00	02:12:00 p.m.	02:29:00 p.m.	0	32.80
12/02/2016	LOSA	127	070637	EH	1	210	02:10:00 p.m.	02:50:00 p.m.	6	7.50	02:53:00 p.m.	03:15:00 p.m.	0	33.40
12/02/2016	PLACA	140	070637	EV	1	210	02:30:00 p.m.	03:17:00 p.m.	6	7.50	03:19:00 p.m.	04:12:00 p.m.	4	33.20
12/02/2016	PLACA	162	208320	EV	1	210	03:00:00 p.m.	03:37:00 p.m.	6	7.00	04:15:00 p.m.	05:00:00 p.m.	0	32.80
13/02/2016	PLACA	1,062	70,670	EV	1	210	10:00:00 a.m.	10:40:00 a.m.	6	6.50	11:30:00 a.m.	12:09:00 p.m.	4	33.60
16/02/2016	LOSA	1,069	8,217	EH	1	210	11:30:00 a.m.	12:30:00 p.m.	6	8.00	01:25:00 p.m.	01:40:00 p.m.	0	33.20
16/02/2016	LOSA	1,061	208441	EH	1	210	12:30:00 p.m.	01:05:00 p.m.	6	8.00	01:44:00 p.m.	02:07:00 p.m.	4	33.60
16/02/2016	LOSA	121	08220	EH	1	210	01:00:00 p.m.	01:40:00 p.m.	6	7.50	02:10:00 p.m.	02:28:00 p.m.	0	34.00
16/02/2016	LOSA	1,024	08223	EH	1	210	01:30:00 p.m.	02:27:00 p.m.	6	8.00	02:34:00 p.m.	03:06:00 p.m.	0	33.80
16/02/2016	LOSA	932	208452	EH	1	210	02:35:00 p.m.	03:10:00 p.m.	6	8.00	03:14:00 p.m.	03:33:00 p.m.	0	32.90
16/02/2016	PLACA	107	208455	EV	1	210	03:10:00 p.m.	04:02:00 p.m.	6	6.00	04:04:00 p.m.	04:55:00 p.m.	4	32.40
16/02/2016	PLACA	1,034	070776	EV	1	210	03:40:00 p.m.	04:28:00 p.m.	6	8.00	05:00:00 p.m.	06:20:00 p.m.	0	32.20
17/02/2016	ESCALERA	185	070789	EV	1	210	07:00:00 a.m.	08:30:00 a.m.	6	5.50	08:45:00 a.m.	09:55:00 a.m.	0	33.60
17/02/2016	LOSA	193	205490	EH	1	210	10:50:00 a.m.	11:30:00 a.m.	6	9.50	12:00:00 p.m.	01:00:00 p.m.	0	32.40
17/02/2016	LOSA	1,074	070810	EH	1	210	11:40:00 a.m.	12:22:00 p.m.	6	8.00	01:03:00 p.m.	01:30:00 p.m.	4	32.80
17/02/2016	LOSA	103	208494	EH	1	210	12:10:00 p.m.	01:03:00 p.m.	6	8.00	01:34:00 p.m.	01:50:00 p.m.	0	33.00
17/02/2016	LOSA	1,072	208496	EH	1	210	12:50:00 p.m.	01:22:00 p.m.	6	8.00	01:53:00 p.m.	03:22:00 p.m.	0	32.60
17/02/2016	LOSA	1,067	070818	EV	1	210	02:20:00 p.m.	02:40:00 p.m.	6	8.50	04:20:00 p.m.	04:43:00 p.m.	0	33.40

Figura 80: Hoja de Control de Concreto. Fuente: Elaboración Propia

REGISTRO CONTROL DE CALIDAD CONTROL DE ROTURA Y ENVÍO DE PROBETAS DE CONCRETO													GyM.SGC.PC.1030-F3			
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO: 1534 EL NUEVO RANCHO											LUGAR DEL ENSAYO: OBRA		Revisión: 1			
CLIENTE: VIVA GyM											UBICACIÓN:		Fecha: 29/04/10			
													Página: 1 DE 1			
													N° CORRECTIVO:			
													FECHA HOY: 21/01/2017			
Código de Probeta	Estructura	Ubicación			Ensayado en	F'c FINAL PLANO	f'c (kg/cm2)	Fecha de Moldeo	Edad	Fecha de Rotura	Diámetro de probeta (cm)	f'c a "X" días (kg/cm2)	Resistencia a promediar	Resistencia al f'c (%)	Promedio (%)	Estado
		EJES	Frete	Sector												
210 /LOSA/ 1,2	LOSA	Eje A	1	1	LAB	210	157.5	01/02/2016	7	08/02/2016	15.2	279	279	133	133	Cumple
						210	157.5	01/02/2016	7	08/02/2016	15.2	279	279	133		
210 /LOSA/ 3,4	LOSA	Eje A-18	1	1	LAB	210	157.5	01/02/2016	28	29/02/2016	15.2	294	296	140	141	Cumple
						210	157.5	01/02/2016	28	29/02/2016	15.2	298	296	142		
210 /PLACA/ 1,2	PLACA	Eje B-12	1	5	LAB	210	157.5	01/02/2016	7	08/02/2016	15.2	283	290	135	138	Cumple
						210	157.5	01/02/2016	7	08/02/2016	15.2	296	290	141		
210 /PLACA/ 3,4	PLACA	Eje B-12	1	5	LAB	210	157.5	01/02/2016	28	29/02/2016	15.2	302	301	144	143	Cumple
						210	157.5	01/02/2016	28	29/02/2016	15.2	300	301	143		
210 /PLACA/ 1,2	PLACA	Eje C-8	1	6	LAB	210	157.5	02/02/2016	7	09/02/2016	15.2	265	270	126	129	Cumple
						210	157.5	02/02/2016	7	09/02/2016	15.2	275	270	131		
210 /PLACA/ 3,4	PLACA	Eje C-8	1	6	LAB	210	157.5	02/02/2016	28	01/03/2016	15.2	290	298	138	142	Cumple
						210	157.5	02/02/2016	28	01/03/2016	15.2	305	298	145		
210 /LOSA/ 1,2	LOSA	Eje A-2	1	2	LAB	210	157.5	03/02/2016	7	10/02/2016	15.2	284	280	135	133	Cumple
						210	157.5	03/02/2016	7	10/02/2016	15.2	276	280	131		
210 /LOSA/ 3,4	LOSA	Eje A-2	1	2	LAB	210	157.5	03/02/2016	28	02/03/2016	15.2	267	267	127	127	Cumple
						210	157.5	03/02/2016	28	02/03/2016	15.2	266	267	127		

Figura 81: Hoja de Control de Rotura de probetas. Fuente: Elaboración Propia

5.9.2. Protocolos de Liberación

El protocolo utilizado para liberar cada estructura antes del vaciado se designó luego de una coordinación entre el encargado del Área de Calidad de Graña y Montero designado al proyecto junto al Residente de Obra y Jefe de Producción. Estos protocolos por cada elemento se archivan y se entregan finalmente al cliente en el Dossier de Calidad.

- **Check List de Liberación de Vaciado de Concreto**

Esta sección contiene todas las instalaciones previas requeridas para autorizar un vaciado. En la sección que indica IISS y IIEE deberá también firmar el ingeniero supervisor de instalaciones que verifique in situ juntamente a los encargados de las cuadrillas que las mismas se encuentren de acuerdo a lo indicado en planos.

- **Check List de Verificación de Colocación de Armadura**

En esta sección se revisa el acero colocado de acuerdo a los planos correspondientes, esta revisión la deberá hacer el Ing. de Campo juntamente al capataz de acero, deben verificarse las tolerancias de acuerdo a las especificaciones técnicas dadas por el área de ingeniería.

- **Check List de Verificación de Encofrados**

En esta sección se verifica las características requeridas para el encofrado, trazos, medición con plomadas de acuerdo a las tolerancias indicadas por el especialista.

GyM		REGISTRO			GyM.SGC.PC.1030-F2
		CONTROL DE CALIDAD			Rev: 03
		LIBERACIÓN DE VACIADO DE CONCRETO			Fecha: 02/10/14
					Página: 1 de 2
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:				N° CORRELATIVO:	
ELEMENTO (S) A VACIAR:				FECHA:	
SECTOR / ZONA:		EJES :		PISO:	
RESIST. (f'c):		PLANO DE REFERENCIA:		N°PROBET:	
CHECK LIST DE LIBERACIÓN DE VACIADO DE CONCRETO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SI	NO	N/A	OBSERVACIÓN
1	Ubicación del elemento según ejes y dimensiones				
2	Topografía, cotas de fondo y nivel de concreto				Indicar nivel:
3	Verificación de la armadura según check list				
4	Verificación del encofrado según check list				
5	IISS: tendido de redes, ubicación de puntos de salida y pases para tuberías				
6	IIEE: redes y salidas (interruptores, tomacorrientes, TV, telefono e intercomunicadores)				
7	Pernos de Anclaje y embebidos				
8	Limpieza del fondo del encofrado				
9	Humedad en toda la superficie de contacto				
10	Otros				
<p>COMENTARIOS</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>					
<p>Se Adjunta Plano marcando el sector o elemento vaciado</p>					
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Firma:		Firma:		Firma:	
Cargo:		Cargo:		Cargo:	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

Figura 82: Protocolo de Liberación de Vaciado de Concreto – Hoja 1. Fuente: Área de

Calidad de Graña y Montero

		REGISTRO				GyM.SGC.PC.1030-F2
		CONTROL DE CALIDAD				Rev: 03
		LIBERACIÓN DE VACIADO DE CONCRETO				Fecha: 02/10/14
						Página: 2 de 2
ELEMENTO ESTRUCTURAL:		EJES:			PISO:	
PLANO DE REFERENCIA:						
CHECK LIST DE VERIFICACIÓN DE COLOCACIÓN DE ARMADURA						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SI	NO	N/A	OBSERVACIÓN	
1	Limpieza de armadura (Verificar que la armadura no presente corrosión)					
2	Diámetro Especificado: (ϕ = plg.)					
3	Verificación de Longitudes (Tolerancia \pm 0 a 1 cm)					
4	Verificación de Estribos (cantidad y espaciamento)					
5	Verificación de Longitudes de Traslape (Tolerancia \pm 0 a 1 cm)					
6	Colocación de separadores (metálicos / doble malla)					
7	Conformidad de recubrimiento (dados de concreto en Losas / ruedas de plástico en muros)					
8	Colocación de refuerzos y amarres					
9	Otros					
RESPONSABLE DE ACERO:					Firma:	
Fecha de Inspección:						
CHECK LIST DE VERIFICACIÓN DE ENCOFRADOS						
PLANO DE REFERENCIA:						
TIPO DE ENCOFRADO						
Madera <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> Otros _____ Nombre de Desmoldante <input type="text"/>						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SI	NO	N/A	OBSERVACIÓN	
1	Verificación de trazo y niveles					
2	Limpieza de paneles y accesorios (planchas metálicas / paneles de madera)					
3	Colocación de desmoldante / sellador (madera)					
4	Verificación de niveles, verticalidad y horizontalidad de encofrado					
5	Conformidad de recubrimientos (dados de concreto y/o separadores de plástico)					
6	Verificación de ochavos y/o biseles					
7	Verificación de hermeticidad de encofrado (colocación de yeso en aristas)					
8	Verificación de ventanas y pases					
9	Otros					
RESPONSABLE DE ENCOFRADO:					Firma:	
Fecha de Inspección:						

Figura 83: Protocolo de Liberación de Vaciado de Concreto – Hoja 2. Fuente: Área de Calidad de Graña y Montero

LAST PLANNER SYSTEM

5.10. Programación maestra

La Planificación Maestra es el equivalente al Cronograma General de Obra de acuerdo a la metodología tradicional de construcción. Contiene todas las actividades que se ejecutarán durante el proyecto. La principal diferencia entre ambos es que el cronograma general de obra se extiende hasta el mínimo detalle del proyecto y la programación maestra es más una planificación por hitos, donde no se encontrarán las actividades a detalle, sino más bien fechas límite de ejecución de ciertas actividades seleccionadas.

El proyecto inició el 09 de noviembre y tiene una duración de 9 meses culminando el 30 de Julio, concluyendo con la entrega de los departamentos al cliente.

Para la presente tesis, analizaremos las partidas: acero, encofrado y concreto que corresponde a la estructura del proyecto. Los hitos son: inicio el 09 de noviembre y fin el 05 de marzo.

Nombre de tarea	REAL BLOQUE VI	
SHAMROCK EL NUEVO RANCHO	Comienzo	Fin
Excavaciones		
Sótano 1	9-Nov-15	18-Nov-15
Sótano 2	19-Nov-15	28-Nov-15
Muros Anclados		
Sótano 1	18-Nov-15	26-Nov-15
Sótano 2	27-Dec-15	5-Dec-15
Cimentaciones	23-Nov-15	11-Dec-15
Casco		
Sótano 1	15-Dec-15	31-Dec-15
Sótano 2	3-Jan-16	25-Jan-16
Piso 1	26-Jan-16	2-Feb-16
Piso 2	3-Feb-16	10-Feb-16
Piso 3	11-Feb-16	18-Feb-16
Piso 4	19-Feb-16	26-Feb-16
Azotea	27-Feb-16	5-Mar-16
Albañilería		
Sótano 1 y 2	11-Mar-16	18-Mar-16
Piso 1	15-Mar-16	25-Mar-16
Piso 2	22-Mar-16	1-Apr-16
Piso 3	29-Mar-16	8-Apr-16
Piso 4	5-Apr-16	15-Apr-16
Azotea	12-Apr-16	22-Apr-16
Tarrajeo / Solaqueo de Muros Interior		
Piso 1	25-Mar-16	5-Apr-16
Piso 2	6-Apr-16	16-Apr-16
Piso 3	17-Apr-16	27-Apr-16
Piso 4	28-Apr-16	8-May-16
Azotea	9-May-16	19-May-16
Tarrajeo / Derrames		
Piso 1	30-Mar-16	9-Apr-16
Piso 2	10-Apr-16	20-Apr-16
Piso 3	21-Apr-16	1-May-16
Piso 4	2-May-16	12-May-16
Azotea	13-May-16	23-May-16
Contrapiso		
Piso 1	6-Apr-16	15-Apr-16
Piso 2	16-Apr-16	25-Apr-16
Piso 3	26-Apr-16	5-May-16
Piso 4	6-May-16	15-May-16
Azotea	16-May-16	25-May-16
Forjado de Escaleras		
Escaleras		
Piso 1		
Piso 2 - - - - - Duplex - Piso 1 y Piso 2 **	21-Apr-16	3-May-16
Piso 3 - - - - - Triplex - Piso 3 y Piso 4 **	5-May-16	17-May-16
Piso 4		
Azotea - - - - - Triplex - Azotea **	19-May-16	31-May-16

Acabados Finales		
TINAS		
Instalaciones de Tinas		
Piso 1		
Piso 2	18-Apr-16	2-May-16
Piso 3	4-May-16	18-May-16
Piso 4		
INSTALACIONES ELECTRICAS		
Inst. Tablero y Cableado		
Piso 1	11-Apr-16	23-Apr-16
Piso 2	11-Apr-16	23-Apr-16
Piso 3	24-Apr-16	7-May-16
Piso 4	24-Apr-16	7-May-16
Azotea	9-May-16	14-May-16
PINTURA		
Imprimado de Muros		
Piso 1	18-Apr-16	30-Apr-16
Piso 2	2-May-16	14-May-16
Piso 3	16-May-16	28-May-16
Piso 4	16-May-16	28-May-16
Azotea	30-May-16	11-Jun-16
Primera Mano Muros		
Piso 1	21-Apr-16	3-May-16
Piso 2	5-May-16	17-May-16
Piso 3	19-May-16	31-May-16
Piso 4	19-May-16	31-May-16
Azotea	2-Jun-16	14-Jun-16
GRANITOS CUARZO		
Tableros Baños		
Piso 1	18-Apr-16	25-Apr-16
Piso 2	26-Apr-16	4-May-16
Piso 3	25-Apr-16	3-May-16
Piso 4	4-May-16	12-May-16
Azotea	13-May-16	19-May-16
DRYWALL		
Ochavo Fachada		
Bajada 1	2-May-16	7-May-16
Bajada 2	9-May-16	14-May-16
Bajada 3	16-May-16	21-May-16
Bajada 4	23-May-16	28-May-16
Bajada 5	30-May-16	4-Jun-16
Bajada 6	6-Jun-16	11-Jun-16
Bajada 7	13-Jun-16	18-Jun-16
Bajada 8	20-Jun-16	25-Jun-16
Bajada 9	27-Jun-16	2-Jul-16
Bajada 10	4-Jul-16	9-Jul-16
Bajada 11	11-Jul-16	16-Jul-16

MUEBLES		
Inst. de Cuerpos Muebles		
Piso 1	6-May-16	18-May-16
Piso 2	20-May-16	26-May-16
Piso 3	28-May-16	3-Jun-16
Piso 4	28-May-16	9-Jun-16
Azotea	11-Jun-16	14-Jun-16
GRANTOS CUARZO		
Tablero Cocina		
Piso 1	9-May-16	21-May-16
Piso 2		
Piso 3		
Piso 4	31-May-16	13-Jun-16
APARATOS SANITARIOS		40.00
Ins. Aparatos Sanitarios		
Piso 1	13-May-16	19-May-16
Piso 2	21-May-16	27-May-16
Piso 3	29-May-16	4-Jun-16
Piso 4	6-Jun-16	12-Jun-16
Azotea	14-Jun-16	20-Jun-16
GRANTOS CUARZO		
Piso Granito Baño Visita		
Piso 1	25-Apr-16	7-May-16
Piso 2		
Piso 3		
Piso 4	9-May-16	21-May-16
Azotea		
CARPINTERIA MADERA		
Instalacion de Puertas		
Piso 1	23-May-16	29-May-16
Piso 2 - - - - - Duplex - Piso 1 y Piso 2 **	31-May-16	6-Jun-16
Piso 3 - - - - - Triplex - Piso 3 y Piso 4 **	8-Jun-16	14-Jun-16
Piso 4	16-Jun-16	22-Jun-16
Azotea - - - - - Triplex - Azotea **	24-Jun-16	30-Jun-16
ESCALERAS DE MADERA		
Escaleras Snuinuanuaco - Sin acabado		
Piso 1	23-May-16	29-May-16
Piso 2 - - - - - Duplex - Piso 1 y Piso 2 **	31-May-16	6-Jun-16
Piso 3 - - - - - Triplex - Piso 3 y Piso 4 **	8-Jun-16	14-Jun-16
Piso 4	16-Jun-16	22-Jun-16
Azotea - - - - - Triplex - Azotea **	24-Jun-16	30-Jun-16
MUEBLES		
Inst. de Puertas Muebles		
Piso 1	23-May-16	29-May-16
Piso 2	27-May-16	2-Jun-16
Piso 3	4-Jun-16	10-Jun-16
Piso 4	4-Jun-16	10-Jun-16
Azotea	18-Jun-16	24-Jun-16

VIDRIOS Y CRISTALES		
Instalacion de vidrios		
Piso 1	16-May-16	23-May-16
Piso 2	25-May-16	1-Jun-16
Piso 3	3-Jun-16	10-Jun-16
Piso 4	12-Jun-16	18-Jun-16
Azotea	20-Jun-16	25-Jun-16
PISO LAMINADO		
Instalacion de Laminado		
Piso 1	30-May-16	6-Jun-16
Piso 2	8-Jun-16	15-Jun-16
Piso 3	17-Jun-16	24-Jun-16
Piso 4	26-Jun-16	3-Jul-16
Azotea	5-Jul-16	12-Jul-16
ESCALERAS DE MADERA		
Escaleras Shuihuahuaco - Acabado		
Piso 1	6-Jun-16	13-Jun-16
Piso 2 - - - - - Duplex - Piso 1 y Piso 2 **	15-Jun-16	22-Jun-16
Piso 3 - - - - - Triplex - Piso 3 y Piso 4 **	24-Jun-16	1-Jul-16
Piso 4	3-Jul-16	10-Jul-16
Azotea - - - - - Triplex - Azotea **	12-Jul-16	19-Jul-16
PINTURA		
Segunda Mano Muros		
Piso 1	13-Jun-16	20-Jun-16
Piso 2	22-Jun-16	29-Jun-16
Piso 3	1-Jul-16	8-Jul-16
Piso 4	10-Jul-16	17-Jul-16
Azotea	19-Jul-16	26-Jul-16
INSTALACIONES ELECTRICAS		
Colocacion de Placas		
Piso 1	15-Jun-16	21-Jun-16
Piso 2	24-Jun-16	30-Jun-16
Piso 3	3-Jul-16	9-Jul-16
Piso 4	12-Jul-16	18-Jul-16
Azotea	21-Jul-16	27-Jul-16
LIMPIEZA Y DESMANCHES		
Limpieza y Desmanches		
Piso 1	22-Jun-16	28-Jun-16
Piso 2	30-Jun-16	6-Jul-16
Piso 3	8-Jul-16	14-Jul-16
Piso 4	16-Jul-16	22-Jul-16
Azotea	24-Jul-16	30-Jul-16
EXTERIORES		
Tarrajeo Pozos		
Pozos Perimetrales	9-May-16	1-Jun-16
Pozos Intermedios	9-May-16	1-Jun-16
Pozos Jardin	9-May-17	11-Jun-16
Tarrajeo Fachada Posterior		
Tarrajeo de Fachada Posterior	29-Apr-16	13-Jun-16
Tarrajeo Fachada Delantera		
Tarrajeo Fachada Delantera	18-Apr-16	28-May-16
Tarrajeo Escaleras de Emergencia		
Tarrajeo de escaleras de emergencia	9-May-16	8-Jun-16
Ladrillo Pastelero		
Azotea	9-May-17	8-Jun-17

Figura 84: Programación Maestra por Hitos, Proyecto El Nuevo Rancho, Graña y

Montero. Fuente: Elaboración Propia

5.11. Lookahead

El Lookahead es la programación intermedia del sistema Last Planner System y la duración de esta depende principalmente de 2 factores, el horizonte máximo de la variabilidad para el proyecto y el mínimo del tiempo que tomen levantar las restricciones. El encargado de realizar el Lookahead en el proyecto es el Ingeniero Jefe de Frente junto al Jefe de Producción y la duración del lookahead es de 4 semanas.

Adicionalmente a esto, decidimos utilizar la programación de lunes a viernes, utilizando el día sábado como buffer de tiempo. Entendemos que al ser un buffer, los trabajos se desarrollan con normalidad el día sábado, sin embargo no están siendo considerados como un día programado en los documentos entregables que se vienen describiendo en este capítulo.

El Lookahead de 4 semanas es un estándar en Graña y Montero, ya que al realizar proyectos de edificaciones en Lima la variabilidad no es como en proyectos al interior del país y 4 semanas se considera un tiempo suficiente para levantar todo tipo de restricciones.

En el primer formato se muestra el Lookahead de las semanas 03 a la 06, podemos ver planificadas las siguientes actividades:

- Acero, Encofrado y Vaciado de Verticales
- Encofrado de Fondo y Costado de Viga y Acero de vigas

- Encofrado de Fondo de Losa y Vaciado de Losa
- Desencofrado y re apuntalamiento
- Desapuntalado

Se observa cómo automáticamente se forman los trenes de actividades y el trabajo va avanzando a través de los sectores para luego avanzar piso por piso, los pisos se distinguen con colores diferentes para identificar más rápido los niveles de avance esperados en el Lookahead.

Adicionalmente al formato original del Lookahead, en el proyecto usamos también un formato visual haciendo uso del programa AutoCad para poder visualizar las 4 semanas planificadas. Este formato se integra al Lookahead junto al análisis de restricciones para que sea más visible la relación entre las actividades y sus restricciones, además de facilitar la identificación de las mismas, en las reuniones de obra y reuniones de producción.

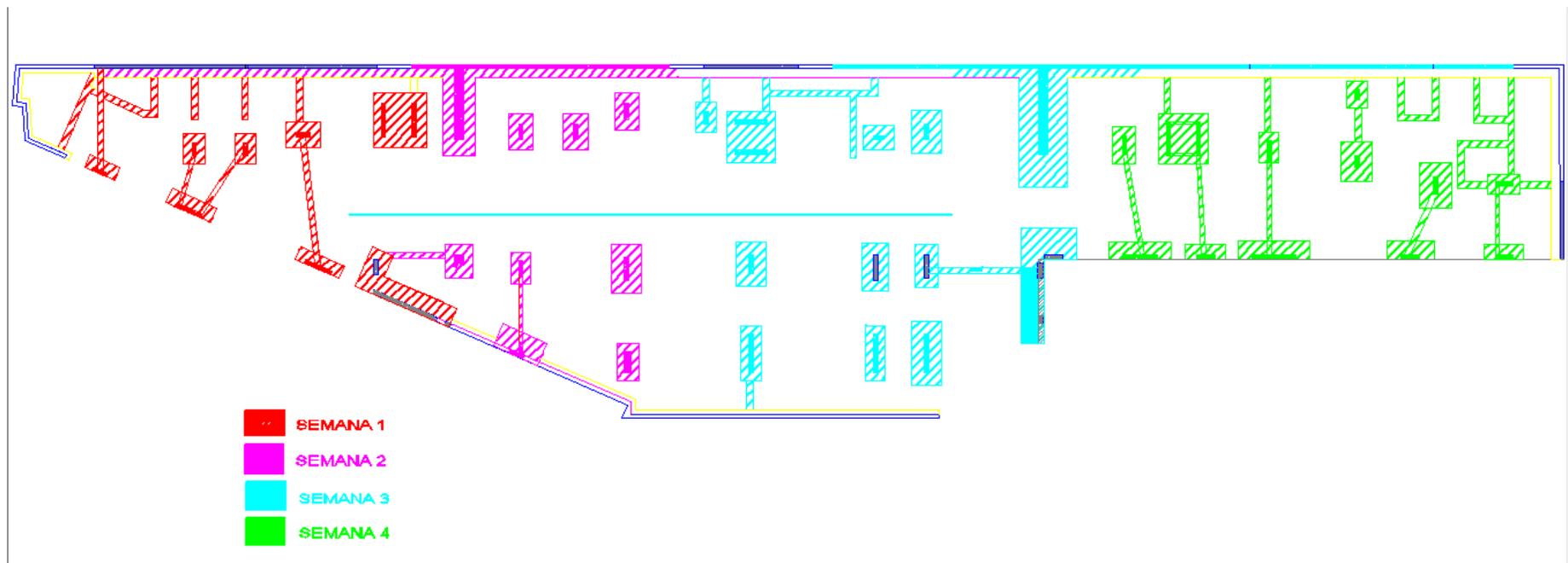


Figura 87: Lookahead Gráfico. Fuente: Elaboración Propia

5.11.1. Actividades Planificadas

Se detallan las actividades programadas y los responsables de cuadrilla, solamente en el horizonte de programación que son las 4 semanas que se consideran en este nivel de programación.

ESTRUCTURAS BLOQUE 4		
Encofrado de Techos		
1	Acero verticales	CUCHO
2	Encofrado verticales	CAPUÑAY
3	Vaciado verticales	SAUCEDO
4	Encofrado de fondo de viga + Costado de Viga	CAPUÑAY
5	Acero de Vigas	CUCHO
6	Encofrado de fondo de losa y/o Apuntalamiento Viguetas	CAPUÑAY
7	Colocacion de viguetas y bovedillas	SAUCEDO
8	Acero de Refuerzo Superior	CUCHO
9	Instalaciones + Liberacion	TODOS
10	Vaciado de Concreto	SAUCEDO
11	Desencofrado y Reapuntalamiento	CAPUÑAY
12	Desapuntalado	CAPUÑAY

Figura 88: Actividades Planificadas. Parte del Lookahead. Fuente: Elaboración

Propia

5.11.2. Programación por semana

Se detalla el Sector que se trabajará cada día, se diferencian en colores para facilitar la visualización del tren de actividades.

Semana 03							
	18-ene	19-ene	20-ene	21-ene	22-ene	23-ene	24-ene
	P1-S2	P1-S3	P1-S4	P1-S4	P1-S5		
	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2	P1-S3		
	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2	P1-S3		
	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2		
	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2		
	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1		
	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1		
	S1-S4	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8		
	S1-S4	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8		
	S1-S3	S1-S4	S1-S5	S1-S6	S1-S7		
	S2-S6	S2-S7	S2-S8	S1-S1	S1-S2		
				S2-S4	S2-S5		

Figura 89: Programación por Semana. Parte del Lookahead. Fuente:

Elaboración Propia

5.11.3. Programación de llegada de materiales

Esta sección es muy importante debido a que para asegurar que se cumplan las distintas programaciones debemos asegurar que los materiales y herramientas se encontrarán en obra en el momento en que se necesiten. Es así que en el lookahead se contemplan los materiales que llegan progresivamente a obra, tal como el acero o las viguetas. Es importante que esta información se considere dentro del lookahead ya que la solicitud de materiales está a cargo de Oficina Técnica, quienes programarán los despachos de acuerdo a la solicitud hecha por el área de Producción en este formato.

Partida de Control	Descripción de la Actividad	CAPATAZ	Semana 03				
			18-ene	19-ene	20-ene	21-ene	22-ene
***	LLEGADA DE VIGUETAS Y BOVEDILLAS			S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2
****	LLEGADA DE ACERO DE LOSA (ACEROS AREQUIPA)				P1-S1	P1-S2	P1-S3

Figura 90: Programación de llegada de materiales. Parte del Lookahead.

Fuente: Elaboración Propia

5.12. Programación Semanal

De las actividades y asignaciones que se tienen listas en la programación intermedia o lookahead, se deben seleccionar aquellas que entrarán en la ventana de programación semanal. Se debe tener en cuenta la prioridad, la secuencia de trabajo y si se tienen en campo todos los recursos.

Una vez dada la programación intermedia y desglosada la programación semanal, esta es presentada en una reunión semanal donde se establecen los compromisos para la semana teniendo en cuenta que ya se hayan levantado las restricciones.

En el formato también se asigna la cantidad de trabajo que se asignará a cada cuadrilla, es tanto un compromiso como un desglose de la sectorización existente.

Las programaciones semanales ya son realizadas utilizando los diferentes buffers seleccionados previamente por la línea de mando. En este formato se han programado sólo 5 días de la semana, así como en algunas programaciones podrían aparecer también las actividades correspondientes al buffer de capacidad que sean necesarias dependiente de la semana de programación.

NOMBRE DE PROYECTO: EL NUEVO RANCHO										
FECHA: 03 de Enero										
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	Metrado Programado	UND.	Ratio Meta	Obreros por cuadrilla	Responsable	LUNE S	MARTE S	MIERCOLES	JUEVE S	VIERNE S
Acero verticales	9738.25	kg	0.040	8.00	CUCHO	P1-S2	P1-S3	P1-S4	P1-S4	P1-S5
Encofrado verticales	625.10	m2	0.600	8.00	CRUZ	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2	P1-S3
Vaciado verticales	82.49	m3	1.150	2.00	S AUCEDO	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2	P1-S3
Encofrado de fondo de viga + Costado de Viga	260.90	m2	1.800	6.00	CRUZ	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2
Acero de Vigas	3590.75	kg	0.050	4.00	CUCHO	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1	P1-S2
Encofrado de fondo de losa y/o Apuntalamiento Viguetas	620.90	m2	0.450	10.00	CRUZ	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1
Colocacion de viguetas y bovedillas	254.91	m2	0.500	2.00	S AUCEDO	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8	P1-S1
Acero de Refuerzo Superior	3457.15	kg	0.040	3.00	CUCHO	S1-S4	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8
Instalaciones + Liberacion	5.00	Sector	-	8.00	TODOS	S1-S4	S1-S5	S1-S6	S1-S7	S1-S8
Vaciado de Concreto	94.90	m3	0.990	2.00	S AUCEDO	S1-S3	S1-S4	S1-S5	S1-S6	S1-S7

Figura 91: Programación semanal Semana 1. Proyecto El Nuevo Rancho. Fuente: Elaboración Propia

5.13. Programación Diaria

Al concluir la programación diaria es entregada a los capataces y jefes de grupo de cada cuadrilla para que en la reunión de 5 minutos diaria donde se realiza la distribución de trabajo al personal, podamos asegurarnos que todos los involucrados en el proceso tengan definido claramente el trabajo programado.

La imagen abajo muestra un formato de programación diaria típico, donde se puede identificar las actividades programadas por cuadrilla para el día asignado. Esta programación cuenta con dos formatos de entrega, uno textual y uno gráfico, donde ambos se complementan y se usan de acuerdo a lo requerido por la línea de mando.

FORMULARIO DE PROYECTOS PLAN DIARIO		GYM		FORMULARIO DE PROYECTOS PLAN DIARIO				GYM.SGP.PG.19-F05																			
								Revisión:																			
								Fecha:																			
								Página:	1 de 1																		
NOMBRE DE PROYECTO:								EL NUEVO RANCHO																			
FECHA:								28 de Diciembre																			
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	Metrado Diario	UND.	Ratio Meta	Obreros por cuadrilla	Nº de cuadrillas	Total Obreros	Responsable	07:30	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00
SUPERESTRUCTURA																											
Acero verticales	1947.65	kg	0.040	8.00	1.00	8.00	CUCHO	P1-S2	P1-S2	P1-S2	P1-S2	P1-S2	P1-S2	P1-S2	P1-S2	P1-S2			P1-S2								
Encofrado verticales	125.02	m2	0.600	8.00	1.00	8.00	CRUZ	P1-S1	P1-S1	P1-S1	P1-S1	P1-S1	P1-S1	P1-S1	P1-S1	P1-S1			P1-S1								
Vaciado verticales	16.50	m3	1.150	2.00	1.00	2.00	SAUCEDO												S1-S8								
Encofrado de fondo de viga + Costado de Viga	52.18	m2	1.800	6.00	1.00	6.00	CRUZ	S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7			S1-S7								
Acero de Vigas	718.15	kg	0.050	4.00	1.00	4.00	CUCHO						S1-S7	S1-S7	S1-S7	S1-S7			S1-S7								
Encofrado de fondo de losa	124.18	m2	0.450	10.00	1.00	10.00	CRUZ	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6	S1-S6			S1-S6								
Colocacion de viguetas y bovedillas	50.98	m2	0.500	2.00	1.00	2.00	SAUCEDO	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5			S1-S6								
Acero de Refuerzo Superior	691.43	kg	0.040	3.00	1.00	3.00	CUCHO	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5			S1-S5								
Instalaciones + Liberacion	1.00	Sector	-	8.00	1.00	8.00	TODOS	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5	S1-S5			S1-S5								
Vaciado de Concreto	18.98	m3	0.990	2.00	1.00	2.00	SAUCEDO				S1-S4	S1-S4	S1-S4	S1-S4	S1-S4	S1-S4			S1-S4								

Figura 92: Programación diaria. El Nuevo rancho. Fuente: Elaboración Propia

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
BLOQUE 4								
PISO 2	ENCOFRADO FONDO Y COSTADO DE VIGA	ECONFRADO DE VERTICALES	ACERO VERTICALES		LLEGADA DE MATERIALES			
	ACERO DE VIGA	VACIADO DE VERTICALES						
PISO 1	DESENCOFRADO Y REAPUNTALAMIENTO					LIBERACION	VIGUETAS + BOVEDILLAS	ENCOFRADO FONDO DE LOSA
						VACIADO DE LOSA	ACERO DE REFUERZO	VIGUETAS + BOVEDILLAS
							INSTALACIONES ELECT Y SANITARIAS	
SOTANO 2								
SOTANO 1				DESAPUNTALADO				

Figura 93: Programación diaria Gráfica. El Nuevo rancho. Fuente: Elaboración Propia

5.14. Análisis de Restricciones

Una vez definidas las actividades a programar se analizan los recursos necesarios para hacer posible su ejecución. Este análisis consiste en la identificación de la restricción, su clasificación y la asignación de un responsable de su levantamiento, incluyendo la fecha máxima donde no comprometa la ejecución de la actividad.

El formato utilizado para el análisis de restricciones, está incluido en una pestaña del lookahead de obra en el cual se colocan las restricciones y para cada una de ellas se coloca al responsable y la fecha de levantamiento de la restricción. Este formato se encuentra en la red del proyecto con acceso libre a todas las áreas para su revisión, de forma que puede asegurarse el conocimiento de todas las partes.

En el análisis de restricciones mostrado pueden existir varios tipos de restricciones las mismas que tienen una fecha de levantamiento y un responsable encargado de levantar la restricción, con este documento se busca tener la certeza de optimizar los trabajos diarios y poder cumplir al máximo el cronograma de obra.

En los proyectos de Graña y Montero y según la GEPUC ⁽²⁰⁾, se clasifican las restricciones según como se indica a continuación en 11 tipos:

1. Materiales
2. Diseño
3. Mano de Obra
4. Inspección
5. Documentación
6. Equipos
7. Habilitación de zona de trabajo
8. Seguridad
9. Ambiental
10. Subcontratos
11. Otros

En el proyecto, a lo largo de las semanas trabajadas se recopiló la información de todas las restricciones para tener un historial en el cual se tenga un listado de todas las restricciones que se dieron en el proyecto y que puedan servir como lección aprendida si fuere el caso.

ANALISIS DE RESTRICCIONES																			
TIPO DE RESTRICCION	SEM 46	SEM 47	SEM 48	SEM 49	SEM 50	SEM 51	SEM 52	SEM 53	SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04	SEM 05	SEM 06	SEM 07	SEM 08	SEM 09	SEM 10	SEM 11
MATERIAL	5	5	9	9	7	11	9	12	13	16	17	15	12	11	8	11	11	10	4
DISEÑO/INFORMACION	7	4	7	5	3	2	1	1	3	1	2	1	1	2	2				
MANO DE OBRA		4	5	5	4	3													
INSPECCION																			
DOCUMENTACION		1	1	2		1	1										2		
EQUIPOS	3	2	1	1	1	3	1	1	2	1						1			
HABILITACION ZONA	2	2	3	1	5	2											1		
SEGURIDAD					1	1	2	2											
AMBIENTAL																			
SUBCONTRATOS												1	1	1	1				
OTROS		1	3	1															
	17	19	29	24	21	23	14	16	18	18	19	16	14	14	11	13	14	10	4

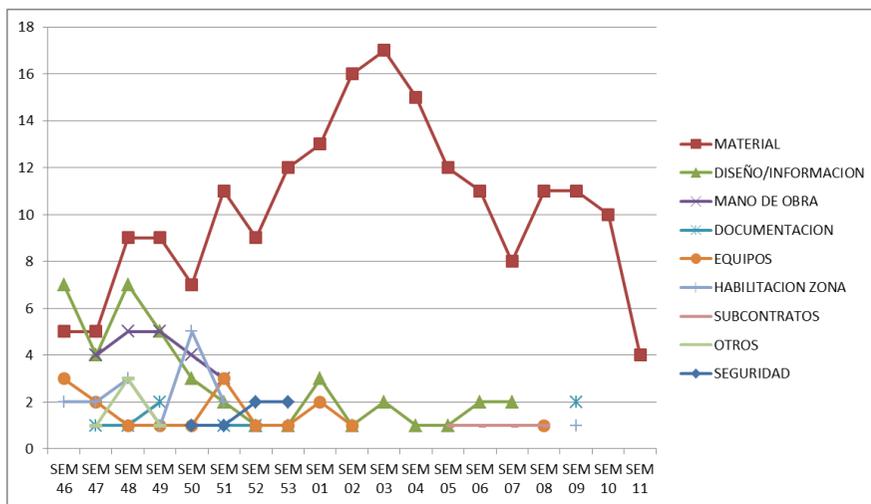


Figura 95: Variación de las restricciones según cada tipo a través del tiempo y Variación del total de restricciones a través del tiempo. Fuente

Elaboración Propia

5.15. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)

El porcentaje de plan cumplido (PPC) es el número total de tareas programadas completadas entre el número total de tareas programadas, expresado en porcentaje. Las tareas programadas se toman del look ahead. El PPC es un análisis de confiabilidad, no busca medir el avance sino la efectividad del sistema de programación.

El porcentaje de plan cumplido (PPC) es una manera de cuantificar la efectividad de la programación, y a su vez, encontrar las razones por las cuales no se ha podido cumplir la programación al 100%. El PPC se realiza todas las semanas, partiendo del look ahead se cuantifica cada actividad como una unidad. Si esta actividad fue hecha en el día programado, se coloca a su costado la unidad, si esta actividad no fue realizada se coloca el número cero, y en los comentarios se coloca la razón por la cual no se cumplió la actividad. Al final se puede sumar todas las tareas programadas y las realizadas, teniendo el PPC general de la semana.

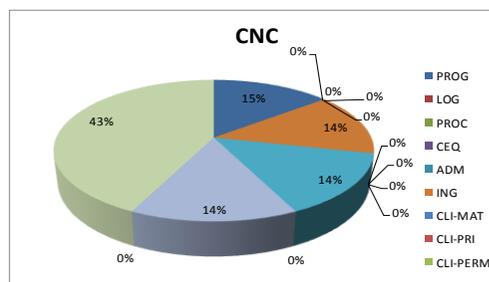
En el formato podemos observar que, obtener el PPC general es básico para llevar un registro del mismo pero vienen acompañado de la identificación de las fallas y la posibilidad de aplicar mejoras.

El PPC es un índice porcentual de fácil visualización que nos faculta de evaluar cuan efectivo fue el último planificador de cumplir con el trabajo previsto.

La Figura 96, muestra el formato utilizado para obtener el PPC y las causas de incumplimiento que se implementó en el proyecto estudiando.

 PORCENTAJE DE PLAN COMPLETADO (PPC)										Fecha			
NOMBRE DE PROYECTO 1834 EL NUEVO RANCHO										CLIENTE Viva GyM		Fecha 20-Feb-16	
METRADO PROGR.										Ubicacion: MIRAFLORES, LIMA			
Item	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	METRADO PROGR.	SEMANA 06					ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO			CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	MEDIDA CORRECTIVA	
			lun 15	mar 16	mie 17	jue 18	vie 19	sab 20	SI	NO			TIPO
ESTRUCTURAS BLOQUE 4													
Encofrado de Techos													
1	Acero verticales	CUCHO	P3-S6	P4-S1	P4-S2	P4-S3	P4-S4	5	0				
2	Encofrado verticales	CRUZ	P3-S5	P3-S6	P4-S1	P4-S2	P4-S3	4	1	(EXT)	Mixercon falla en el envío de concreto	retrasos de construcción con	
3	Vaciado verticales	SAUCEDO	P3-S5	P3-S6	P4-S1	P4-S2	P4-S3	4	1	(EXT)	Mixercon falla en el envío de concreto	retrasos de construcción con	
4	Encofrado de fondo de viga + Costado de Viga	CRUZ	P3-S4	P3-S5	P3-S6	P4-S1	P4-S2	3	2	(EXT)	El retraso de vaciado dejó sin frente		
5	Acero de Vigas	CUCHO	P3-S4	P3-S5	P3-S6	P4-S1	P4-S2	3	2	(EXT)	El retraso de vaciado dejó sin frente		
6	Encofrado de fondo de losa y/o Apuntalamiento Viguetas	CRUZ	P3-S3	P3-S4	P3-S5	P3-S6	P4-S1	4	1	(EXT)	El retraso de vaciado dejó sin frente		
7	Colocacion de viguetas y bovedillas	SAUCEDO	P3-S3	P3-S4	P3-S5	P3-S6	P4-S1	4	1	(EXT)	El retraso de vaciado dejó sin frente		
8	Acero de Refuerzo Superior	CUCHO	P3-S2	P3-S3	P3-S4	P3-S5	P3-S6	5	0				
9	Instalaciones + Liberacion	TODOS	P3-S2	P3-S3	P3-S4	P3-S5	P3-S6	5	0				
10	Vaciado de Concreto	SAUCEDO	P3-S1	P3-S2	P3-S3	P3-S4	P3-S5	5	0				
11	Desencofrado y Reapuntalamiento	CRUZ	P2-S2	P2-S3	P2-S4	P2-S5	P2-S6	5	0				
12	Desapuntalado	CRUZ	P1-S3	P1-S4	P1-S5	P1-S6	P2-S1	5	0				
13	Encofrado de Escaleras	CRUZ	E2-S2	E1 - S1	E2-S1	E3 - S1	E1 - P1	4	1	CPP	El retraso de fierros dejó sin frente		
14	Acero de Escaleras	CUCHO	E2-S2	E1 - S1	E2-S1	E3 - S1	E1 - P1	4	1	PROG	Falta de personal (fierros)		
15	Vaciado de Escaleras	SAUCEDO	E1 - S2	E2-S2	E3 - S2	E1-S1	E2 - S1	4	1	CPP	El retraso de fierros dejó sin frente		
16	Llegada de viguetas		P3-S4	P3-S5				0	2	SC			

64	11
85%	15%



2	PROG	PROGRAMACION GYM (PROG)
-	LOG	LOGISTICA GYM (LOG)
-	PROC	PROCURA GYM (PROC)
-	CEQ	EQUIPOS GYM (EQ)
-	ADM	ADMINISTRACIÓN GYM (ADM)
2	ING	INGENIERÍA (ING)
-	CLI-MAT	CLIENTE MATERIAL (CLI-MAT)
-	CLI-PRI	CLIENTE PRIORIDAD (CLI-PRI)
-	CLI-PERM	CLIENTE PERMISOS (CLI-PERM)
-	EJEC	ERRORES DE EJECUCIÓN (EJEC)
2	SC	SUBCONTRATAS (SC)
-	OT	OFICINA TÉCNICA (OT)
2	CPP	COORDINACIONES PREVIAS ENTRE PRODUCCIÓN O ACTIVIDADES PREVIAS.
-	QA/QC	AREA DE CALIDAD
6	(EXT)	EXTERNOS

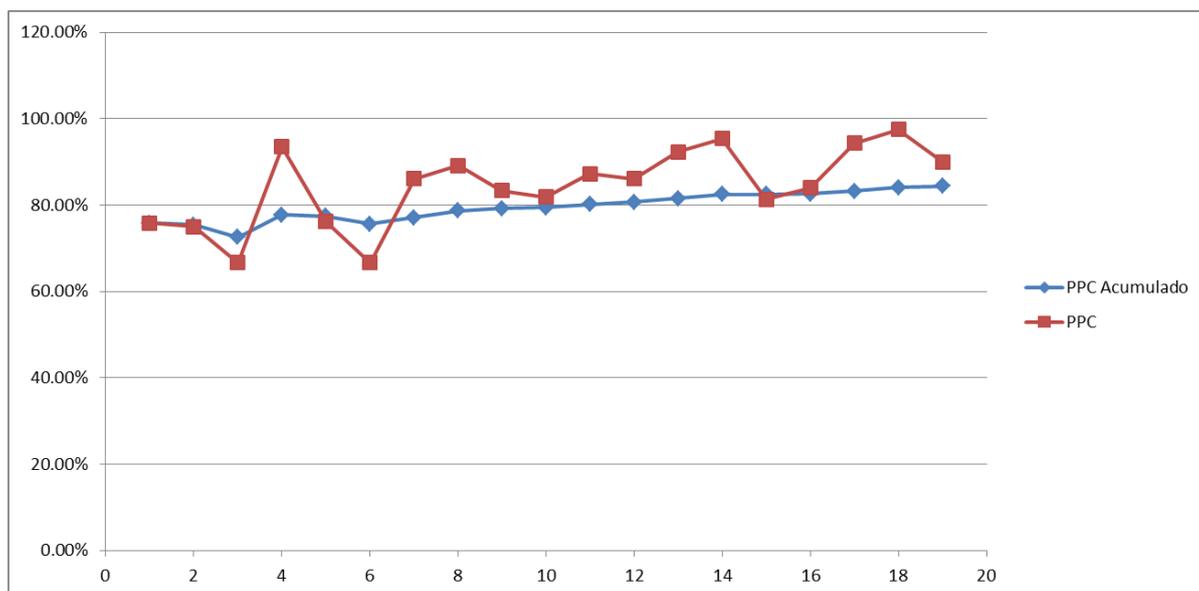
Figura 96: Formato de análisis de confiabilidad PPC Semana 5. Fuente: Elaboración Propia

Los resultados que se obtuvieron a lo largo del proyecto con la implementación las herramientas Last Planner System. En la Figura 97 se presentan los resultados correspondientes hasta la semana 11 de la programación de obra.

PPC ACUMULADO				
SEMANAS	ACTIVIDADES REALIZADAS	ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS	PPC	PPC ACUMULADO
Semana 46	22	7	75.86%	75.86%
Semana 47	21	7	75.00%	75.43%
Semana 48	24	12	66.67%	72.51%
Semana 49	43	3	93.48%	77.75%
Semana 50	32	10	76.19%	77.44%
Semana 51	34	17	66.67%	75.64%
Semana 52	37	6	86.05%	77.13%
Semana 53	41	5	89.13%	78.63%
Semana 1	45	9	83.33%	79.15%
Semana 2	45	10	81.82%	79.42%
Semana 3	48	7	87.27%	80.13%
Semana 4	62	10	86.11%	80.63%
Semana 5	60	5	92.31%	81.53%
Semana 6	62	3	95.38%	82.52%
Semana 7	61	14	81.33%	82.44%
Semana 8	63	12	84.00%	82.54%
Semana 9	66	4	94.29%	83.23%
Semana 10	78	2	97.50%	84.02%
Semana 11	18	2	90.00%	84.34%

Figura 97: PPC semanales para la etapa de casco. Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 97 podemos ver los resultados de los PPC de cada semana y el PPC acumulado para tener un recuento de los valores obtenidos en la programación durante toda la obra, con estos datos se obtiene el gráfico en el cual se observa las curvas de PPC y PPC acumulado y su variación en el tiempo.



Figuras 98: PPC Semanal y PPC acumulado. Fuente: Elaboración Propia

Los gráficos 96 y 98 muestran que en un total de 11 semanas se obtuvo un porcentaje de cumplimiento igual de 84.34%. Durante las 11 semanas si se alcanzaron niveles altos de hasta 97.75% siendo el nivel más bajo de 66.67% en el PPC.

5.15.1. Causas de Incumplimiento

Para determinar las causas de no cumplimiento realizamos un seguimiento exhaustivo de la ejecución de las actividades planificadas para toda la semana, en la cual según se van ejecutando los trabajos se presentan una serie de problemas y restricciones que no permiten cumplir con lo planificado los cuales son registrados para poder darlos a conocer en las reuniones de planificación y tomar acciones correctivas para que no

se vuelvan a producir. La meta es minimizar los efectos negativos de la variabilidad hallando por qué de que una actividad no fue completada con éxito cuando fue programada. Esta información puede ser traducida, por ejemplo, en un cuadro estadístico en el cual se pueda revelar los principales problemas de la obra que causaron que las actividades no se realicen con éxito en su momento.

Existen una gran cantidad de catálogos de causas de incumplimiento que han sido ampliamente estudiadas y facilitan un futuro análisis.

Los grupos en los que se distribuyen las causas de incumplimiento son:

CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	PROGRAMACION (PROG)	LOGISTICA (LOG)	CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)	EXTERNOS (EXT)
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> Errores o cambios en la programación Inadecuada utilización de herramientas de programación. Mala asignación de recursos Restricciones que no se identificaron oportunamente 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de equipos, herramientas o materiales en obra que fueron requeridos oportunamente por producción 	<ul style="list-style-type: none"> La entrega oportuna de información a producción (planos, procedimientos, etc.) Cambios o errores en la ingeniería durante el desarrollo de las actividades del Plan Semanal. 	<ul style="list-style-type: none"> Retrasos por razones climáticas extraordinarias Fuentes extraordinarias como marchas sindicales sin previo aviso, huelgas, accidentes, etc.
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	CLIENTE / SUPERVISION (CLI)	ERRORES DE EJECUCIÓN (EJEC)	SUBCONTRATAS (SC)	
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> Todas las causas que implican responsabilidad del cliente (falta de información, cambio de prioridades, cambios o errores en la ingeniería, falta de liberación de las estructuras, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Se consideran las causas que corresponden a los atrasos debidos a retrabajos en el proceso constructivo, es decir que por errores de ejecución no se pudieron cumplir otras actividades programadas. 	<ul style="list-style-type: none"> En este punto se consideran todas las causas de incumplimiento relacionadas a la falla en la entrega de algún recurso subcontratado o al atraso debido al no cumplimiento de. 	
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	EQUIPOS (EQ)		ADMINISTRATIVOS (ADM)	
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> Todas las causas que implican averías o fallas en los equipos que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan semana. Están incluidos los mantenimiento no programados de equipos. 		<ul style="list-style-type: none"> No llegada del personal especializado (incluido subcontratos) Falta de permisos o licencias 	

Figura 99: Catálogo de causas de incumplimiento. Fuente: Edifica⁽¹²⁾

El proceso de identificación de las causas de no cumplimiento se realiza de forma semanal y acompañando la programación semanal.

El objetivo de la identificación y el seguimiento de las causas de incumplimiento son para que sean tomadas en cuenta como oportunidades de mejora en futuras etapas de la obra u otras obras.

Yendo al análisis específico de las causas identificadas, un gran porcentaje de las causas de incumplimiento 41.43%, está relacionado con errores en Programación así como un 40.71%, corresponde a Administración, Ingeniería, Materiales y Externos, esto quiere decir que la mayor parte de las fallas provienen de errores de los procesos llevado a cabo por la administración de obra y el almacén así como la falta de definición de detalles de ingeniería debido a los cambios del cliente en la arquitectura del proyecto, por lo que podemos concluir que debe haber un énfasis especial a la programación y a los pedidos del área de logística para poder reducir las actividades incumplidas y poder incrementar el nivel de confianza en la programación.

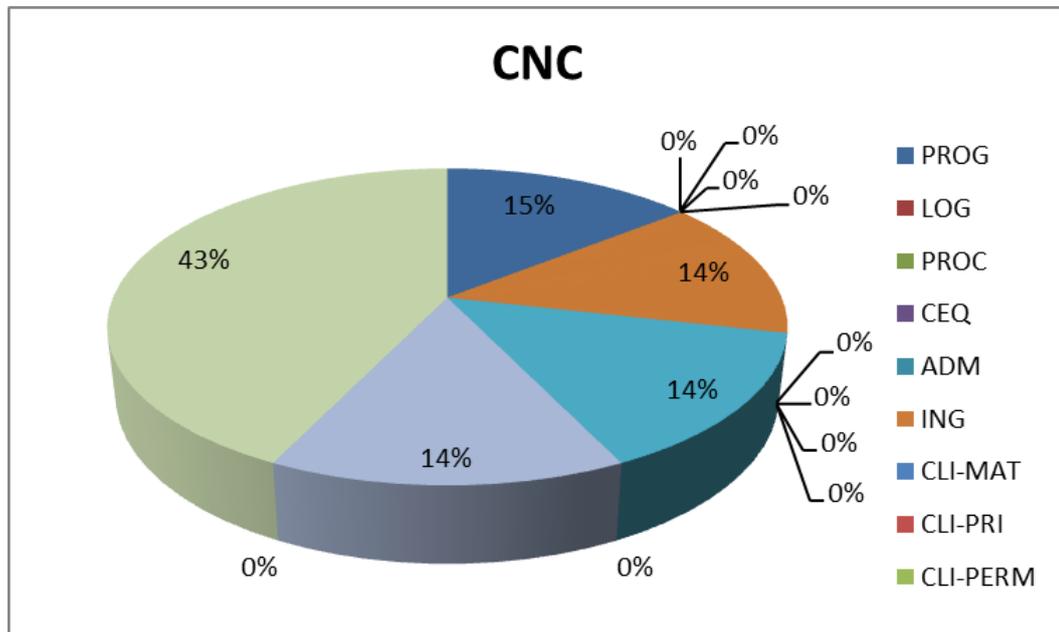
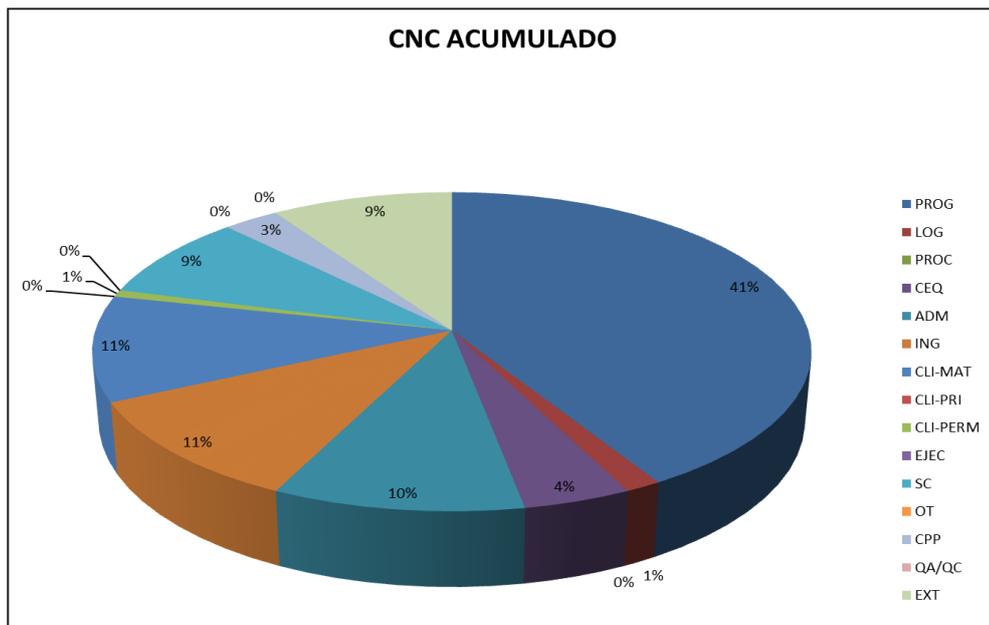


Figura 100: CNC tomadas del Formato de PPC y Análisis de cumplimiento de la Semana

06. Fuente: Elaboración Propia

Lo obtenido mediante estos formatos son las estadísticas de las principales causas de incumplimiento reales sucedidas en obras y que son puntos a mejorar en futuras etapas de la obra u otras obras.

CNC ACUMULADO															
SEMANAS	PROG	LOG	PROC	CEQ	ADM	ING	CLI-MAT	CLI-PRI	CLI-PERM	EJEC	SC	OT	CPP	QA/QC	EXT
Semana 46	2	2		1	2										
Semana 47	4					1	2								
Semana 48	5			1		3	1				2				
Semana 49	2			1											
Semana 50	5				2	2	1								
Semana 51	4				7	3	1				2				
Semana 52	2			2			1				1				
Semana 53	2				1	1			1						
Semana 1	7														
Semana 2	5						3								2
Semana 3	4					1	2								
Semana 4	6						1								
Semana 5					1								2		2
Semana 6					1		2								
Semana 7	2					2					2		2		6
Semana 8	5			1		2	1				3				
Semana 9	2										2				
Semana 10															2
Semana 11	1														1
	58	2	0	6	14	15	15	0	1	0	12	0	4	0	13
	41.43%	1.43%	0.00%	4.29%	10.00%	10.71%	10.71%	0.00%	0.71%	0.00%	8.57%	0.00%	2.86%	0.00%	9.29%



Figuras 101: CNC tomadas del Formato de PPC y Análisis de cumplimiento. Fuente:

Elaboración Propia

Un gran porcentaje de las causas de incumplimiento 41.43%, está relacionado con errores en Programación así como un 40.71%, corresponde a Administración, Ingeniería, Materiales y Externos, esto quiere decir que la mayor parte de las fallas provienen de errores de los procesos llevado a cabo por la administración de obra y el almacén así como la falta de definición de detalles de ingeniería debido a los cambios del cliente en la arquitectura del proyecto, por lo que podemos concluir que debe haber un énfasis especial a la programación y a los pedidos del área de logística para poder reducir las actividades incumplidas y poder incrementar el nivel de confianza en la programación.

5.16. Variabilidad

Mientras mayor sea la variabilidad en una obra, mayor será el impacto en el presupuesto y en el tiempo de ejecución de la obra, este impacto se puede reducir incluyendo Buffers en el proyecto.

Tomando en cuenta los tres tipos de buffer: capacidad, inventario y tiempo, analizamos el proyecto y sus características.

- **Capacidad**

Se utilizó este buffer al planificar la nivelación del piso del Sótano 2 de acuerdo a los momentos en que por alguna restricción no se tuviera frente en la torre para todos los oficiales quienes se encargan de la mayoría de actividades de la nivelación, así también con las distintas actividades que se ejecutan por operarios tales como el vaciado de la losa, que es una actividad que genera un ratio excelente que pueda compensar en sobremanera una falta de frente en torre.

- **Tiempo**

Se utilizó el buffer de tiempo para el proyecto de acuerdo al standard de Graña y Montero, consiste en no incluir el sábado en la programación semanal permitiendo que se pueda usar en el caso de que haya complicaciones y de esa manera no dejemos de cumplir el

plazo establecido. Es fundamental la utilización de este buffer debido a que ayuda a evitar que la variabilidad afecte el PPC que es el número que finalmente mide nuestro desempeño como planificadores. En caso no existan complicaciones el avance de obra se da de acuerdo a la sectorización lo que permitirá tener un avance ligeramente mayor al inicio de semana.

- **Buffer de Inventario**

Se utilizó el buffer de inventario debido a que en los proyectos de construcción hay poca confiabilidad que tienen los proveedores de este rubro. Se entiende como buffer de inventario el tener una cantidad mayor a la necesaria de materiales y/o equipos para evitar que el flujo se detenga. Para ello se tiene siempre en stock 2 vibradores de concreto y los materiales se tienen almacenados hasta 2 sectores delante de acuerdo a cada cuadrilla de trabajo. Es así que el pedido de material realizado por el Ingeniero debe hacerse teniendo en cuenta este buffer, que va de la mano con una planificación de la ubicación de los materiales, ya que por el tipo de proyecto no se cuenta con espacio extra donde almacenar material en grandes cantidades.

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

6.1. Conclusiones

- Los resultados obtenidos en las mediciones de productividad realizadas en el proyecto mediante la aplicación de la carta balance indicó valores de: TP: 61%, TC: 30% y TNC: 9%. De acuerdo a la información disponible para comparar dichos resultados podemos concluir que la aplicación de las herramientas propuestas por la filosofía Lean Construcción en el proyecto y la utilización de cuadrillas especializadas, ha permitido la optimización de dichas cuadrillas, lo que se tradujo en resultados similares a los medidos en los últimos años en Lima y en Chile, que demuestran un incremento en la productividad de cuadrillas.
- El valor obtenido para el PPC del proyecto fue de 84.34%, lo que demuestra un alto grado de confiabilidad en la programación realizada de acuerdo a los distintos niveles propuestos por el Last Planner System. La aplicación de las diferentes herramientas nos permitió reducir considerablemente los efectos de la variabilidad sobre el proyecto, cumpliendo así con el plazo establecido.

- De los resultados obtenidos mediante dimensionamiento de cuadrillas previo al inicio de los trabajos, se analizaron las curvas de productividad que indican los ratios con los que se finalizó el proyecto y que se traducen en la cantidad monetaria que se ahorró en determinada cuadrilla. Los resultados obtenidos de acuerdo al apartado 5.4 “Curvas de Productividad” son los siguientes:
 - Cuadrilla de Acero: El ratio obtenido fue de 0.053 HH/kg, el dinero perdido fue de S/.2,202.15
 - Cuadrilla de Concreto: El ratio obtenido fue de 0.969 HH/m³, el dinero ganado fue de S/.9,403.43
 - Cuadrilla de Encofrado: El ratio obtenido fue de 1.111 HH/m², el dinero ganado fue de S/. 12,313.81.

6.2. Propuestas de Mejora

- En este proyecto existieron interferencias de todo tipo al momento de la ejecución, que se fueron solucionando en el momento, y que gracias a la aplicación de los buffers no hubo una gran inferencia en el PPC de obra. Sin embargo para evitar interferencias existen herramientas que a hoy se vienen aplicando en la industria de la construcción, tales como la tecnología BIM (Building Information Management), cuyos beneficios son indispensables en proyectos de esta envergadura y se recomienda su utilización.
- Las mediciones de productividad en obras en provincia aún no se han dado, es por ello que los indicadores que funcionan en Lima podrían no ser los mismos que en provincia. Aún se desconoce cuál es la situación actual de las obras en Tacna, frente a las obras en Lima y Latinoamérica en general. Esta es una ventana de estudio que podría mejorar grandemente las condiciones bajo las que se programan los proyectos en provincia.