

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO
HOSPITAL SANTA MARÍA CUTERVO NIVEL II – CAJAMARCA
CON LA HERRAMIENTA LÍNEAS DE BALANCE (LOB)**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Daniel Ricardo Cruzado Dávila

ASESOR:

José Félix Alejandro Benavides Vargas

Lima, noviembre del 2022

Informe de Similitud

Yo, JOSE FELIX ALEJANDRO BENAVIDES VARGAS, docente de la Facultad de Ciencias e ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis/ trabajo de investigación titulado:

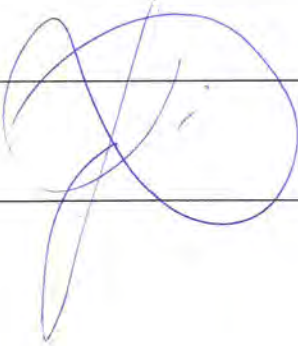
Planificación y programación de Proyecto Hospital Santa María Cutervo nivel II – Cajamarca con la Herramienta Líneas de Balance (LOB)

del autor: DANIEL RICARDO CRUZADO DAVILA

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 22%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 08/11/2022.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 15 de diciembre del 2022

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Benavides Vargas, José Félix Alejandro</u>	
DNI: 10141857	Firma 
ORCID: 0000-0001-7231-6168	

RESUMEN

La planificación en el sector construcción forma parte importante en un eslabón de un proceso sistematizado de gestión de un proyecto de construcción. Es por ello que estudiar herramientas que permitan generar confianza en sus resultados para, posteriormente, ser incorporados en los proyectos venideros es una meta que alcanzar en un futuro cercano.

La herramienta línea de balance data desde sus inicios en los años 30's; ya que, fue posible construir el Empire States en tan solo un año gracias a esta herramienta de planificación. Actualmente esta herramienta está comprendida como parte de la gestión de la planificación de proyectos de construcción del sistema Last Planner, aunque inicialmente su elaboración y aplicación no fue diseñado para el entorno constructivo, posteriormente se fue incorporando en importantes proyectos de construcción.

La Construcción Hospital Santa María Cutervo Nivel II – Cutervo, Cajamarca forma parte de una iniciativa de proyectos de construcción que tienen por objetivo descentralizar la carga asistencial de los pacientes de todas las especialidades de las ciudades eje como Chiclayo o Jaén que son los hospitales referentes de atención especializada y que, actualmente, no se dan abasto. La propuesta de construcción de este hospital viene impulsada por diversas gestiones desde el 2013; sin embargo, no es hasta mayo del 2016, donde los trabajos fueron iniciados. A la actualidad, el proyecto esta con un alto porcentaje de avance de casco estructural y acabados de arquitectura a falta de concluir con la implementación del equipamiento médico que, por dificultades en los expedientes técnicos, no se ha podido

liquidar. A lo largo de todo el proyecto se han presentado dificultades por temas de atrasos respecto a los avances proyectados, así como déficits de control en el ritmo de obra; en ese sentido, el estudio busca analizar y buscar una alternativa a la planificación planteada que permita demostrar que existen herramientas capaces que pueden ayudar a mejorar la gestión de un proyecto. Para ello se ha recogido información perteneciente a la programación de ejecución de la obra para luego ser analizada en tres modelos propuestos que evalúen la planificación de obra y que permita establecer comparaciones cualitativas y cuantitativas.

De los tres modelos planteados de acuerdo con los datos recogidos se presenta un primer modelo de simulación con la herramienta líneas de balance partiendo de un cronograma Gantt planificación antes del inicio del proyecto. Un segundo modelo como una simulación, partiendo de las valorizaciones generadas por la contratista durante la etapa de ejecución y, finalmente, un tercer modelo como una propuesta alternativa de planificación de todo el Hospital considerando los criterios básicos y claves para su elaboración donde se expondrá sus ventajas frente a la utilización de los primeros modelos propuestos.

Se concluyó que la metodología de planificación por localización a través de las líneas de balance muestra un mejor comportamiento para el control de proyecto de obra, cualitativamente, ofrece una mejora visual que permite una mejor referenciarían del control del proyecto frente a la programación convencional; además, cuantitativamente, se comprobó que se optimiza los tiempos globales y de partida a partida con el control de pendiente evidenciado en la velocidad y porcentajes consolidados de variación estadísticamente.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor José Benavides por su orientación,
quía y esclarecimiento durante esta etapa de trabajo.

A la Pontificia Universidad Católica del Perú y
a todos los profesores que me permitieron
llegar hasta este punto impartiendo
sus valiosos conocimientos.

Finalmente agradecer, especialmente, a
mi familia por el constante apoyo, paciencia
y confianza para realizar la presente tesis.

INDICE

1. <i>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</i>	1
1.1. <i>Objetivos</i>	2
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	2
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.2. <i>Justificación</i>	3
1.3. <i>Alcances y limitaciones</i>	5
1.3.1. <i>Alcances</i>	5
1.3.2. <i>Limitaciones</i>	6
2. <i>CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO</i>	7
2.1. <i>Marco teórico</i>	7
2.2. <i>Problemática de la planificación de proyectos de construcción</i>	9
2.3. <i>Lean Construcción</i>	12
2.4. <i>Métodos de programación en la construcción</i>	14
2.5. <i>Sistema Last Planner:</i>	17
* <i>Asociación Lean Construction vs Last Planner System</i>	21
* <i>Proyectos repetitivos y no repetitivos</i>	22
2.6. <i>Líneas de balance:</i>	23
2.6.1. <i>Antecedentes:</i>	23
2.6.2. <i>Conceptualización:</i>	26
2.6.3. <i>Estructura y requerimientos:</i>	27
2.6.4. <i>Utilidad:</i>	29
2.6.5. <i>Metodología:</i>	31
2.6.6. <i>Procedimiento:</i>	36
2.6.7. <i>Ventajas y desventajas:</i>	37
A. <i>Ventajas:</i>	37
B. <i>Desventajas:</i>	39

2.7.	<i>Contraste líneas de balance vs diagrama Gantt</i>	40
2.7.1.	<i>Sistema Last Planner y la programación maestra:</i>	40
2.7.2.	<i>Contraste Gantt vs LoB:</i>	42
2.7.3.	<i>Beneficios Lean Construction</i>	43
3.	CAPÍTULO 3: METODOLOGIA	45
3.1.	<i>Primera Etapa o reconocimiento de proyectos de análisis</i>	45
3.2.	<i>Segunda Etapa o delimitación de datos del proyecto:</i>	47
3.3.	<i>Tercera Etapa o definición de actividades principales:</i>	51
3.4.	<i>Cuarta Etapa o definición y establecimiento de tiempos de trabajo por partida y sub partida:</i>	55
3.5.	<i>Quinta Etapa o definición y establecimiento de plazos de ejecución:</i>	57
3.6.	<i>Sexta etapa o creación de líneas de balance del proyecto de edificación:</i>	58
3.7.	<i>Séptima etapa o seguimiento y comparación con cronograma Gantt:</i>	58
3.8.	<i>Octava etapa u observaciones y conclusiones:</i>	59
4.	CAPÍTULO 4: MODELOS	60
4.1.	<i>Modelos considerados:</i>	61
4.1.1.	<i>Modelo 1 o modelo adaptado del Gantt</i>	61
4.1.2.	<i>Modelo 2 o modelo adaptado de valorizaciones</i>	62
4.1.3.	<i>Modelo 3 o modelo propuesto</i>	62
4.2.	<i>Procedimiento y desarrollo</i>	63
4.2.1.	<i>Modelo 1 o modelo adaptado del Gantt (Anexo 1 y 2)</i>	63
4.2.2.	<i>Modelo 2 o adaptado de valorizaciones</i>	72
4.2.3.	<i>Modelo 3 o modelo propuesto (Anexo 5)</i>	81
5.	CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
5.1.	<i>Resultados cualitativos:</i>	86
5.1.1.	<i>Modelos adaptados de Gantt:</i>	86
5.1.2.	<i>Modelos adaptados de valorizaciones:</i>	87
5.1.3.	<i>Modelo propuesto</i>	88
5.2.	<i>Resultados cuantitativos:</i>	89

5.2.1. Velocidad 1 vs Velocidad 2:	89
5.2.2. Velocidad 1 vs Velocidad 3:	95
5.2.3. Velocidad 2 vs Velocidad 3:	100
6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	105
* Del análisis de líneas de balance (LoB) en la gestión de proyectos	105
* De la planificación mediante líneas de balance (LoB)	107
* Sobre proponer alternativas de mejora	107
* Sobre verificar el impacto que produce, en una gestión de proyectos	108
* Sobre comparar los modelos de planificación propuestos	109
* Sobre realizar un análisis del proceso de elaboración y puesta en obra de una planificación con líneas de balance comparado con un cronograma convencional.	110
7. CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFIA	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparación planificación tradicional vs Sistemas Last Planner (Adaptado de (Orihuela & Ulloa, 2011) y (Nieto, 2009))	21
Tabla 2: Características de los Proyectos Fuente: Murguía, D. y Urbina, A. (2018) - Adaptación propia	22
Tabla 3: Tomada de linha de balanço - uma nova abordagem ao	43
Tabla 4: Tabla de áreas de proyecto hospital Santa María Cutervo	47
Tabla 5: Tabla de presupuestos aprobados para la construcción del proyecto Santa María	48
Tabla 6: Partidas principales consideras por la contratista para su planificación y trabajo contractual	52
Tabla 7: Partidas principales consideras por la contratista para su planificación y trabajo adicional	55

<i>Tabla 8: Ejemplo de cálculo de tiempo de tiempo de actividades para el concreto armado de vigas de cimentación.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 9: Requerimientos para los modelos considerados.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 10: Cálculo de velocidades contractual del proyecto hospital Santa María Cutervo65</i>	
<i>Tabla 11: Cálculo de velocidades adicional del proyecto hospital Santa María Cutervo ..</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 12: Cálculo de porcentajes por avance de valorizaciones - Contractual.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 13: Cálculo de velocidad de partida viga de cimentación - Contractual</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 14: Cálculo de porcentajes por avance de valorizaciones - Adicional</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 15: Cálculo de velocidad de partida viga de cimentación - Adicional.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 16: Balanceo de partidas de concreto armado de los sectores definidos.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 17: Cálculo de tiempos por partida a partir del rendimiento y número de cuadrillas</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 18: Comparación de velocidades contractual modelo 1 y modelo 2.</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 19: Tabla resumen comparación contractual modelo 1 y 2</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 20: Comparación de velocidades adicional modelo 1 y modelo 2.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 21: Tabla resumen comparación adicional modelo 1 y 2.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 22: Comparación de velocidades contractual modelo 1 y modelo 3.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 23: Tabla resumen comparación contractual modelo 1 y 3</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 24: Comparación de velocidades adicional modelo 1 y modelo 3.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 25: Tabla resumen comparación adicional modelo 1 y 3.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 26: Comparación de velocidades contractual modelo 2 y modelo 3</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 27: Tabla resumen comparación contractual modelo 2 y 3</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 28: Comparación de velocidades adicional modelo 2 y modelo 3</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 29: Tabla resumen comparación adicional modelo 2 y 3.....</i>	<i>104</i>

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Calculo de la velocidad 1</i>	36
<i>Ecuación 2: Calculo de la velocidad 2</i>	36
<i>Ecuación 3: Calculo del rendimiento de una actividad</i>	36
<i>Ecuación 4: Calculo del ratio de una cuadrilla</i>	36
<i>Ecuación 5: Ecuación de cálculo del tiempo de actividad</i>	56
<i>Ecuación 6: Velocidad modelo adaptado Gantt</i>	64
<i>Ecuación 7: Velocidad modelo adaptado de valorizaciones</i>	73
<i>Ecuación 8: Velocidad modelo propuesto</i>	82

LISTA DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1: Grafica elaborada de líneas de balance adaptado de cronograma Gantt - contractual</i>	70
<i>Diagrama 2: Grafica elaborada de líneas de balance adaptado del cronograma Gantt - Adicional</i>	71
<i>Diagrama 3: Grafica de líneas de balance adaptado de valorizaciones – contractual</i>	79
<i>Diagrama 4: Grafica de líneas de balance adaptado de valorizaciones - adicional</i>	80
<i>Diagrama 5: Grafica de líneas de balance propuesto</i>	85

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cálculo de adaptación de cronograma Gantt - contractual

Anexo 2: Cálculo de adaptación de cronograma Gantt - adicional

Anexo 3: Cálculos de adaptación de valorizaciones – contractual

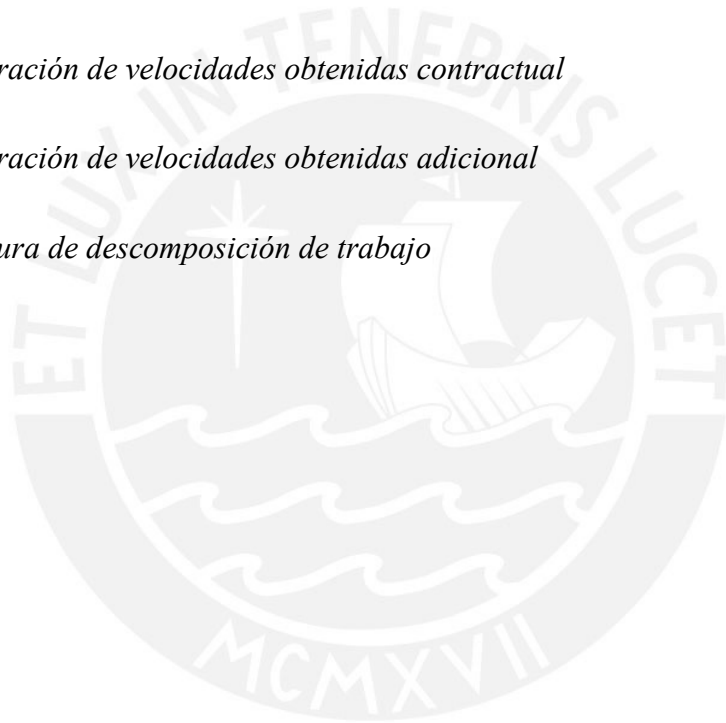
Anexo 4: Cálculos de adaptación de valorizaciones – adicional

Anexo 5: Cálculos de adaptación cronograma propuesto

Anexo 6: Comparación de velocidades obtenidas contractual

Anexo 7: Comparación de velocidades obtenidas adicional

Anexo 8: Estructura de descomposición de trabajo



1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En los últimos años el gobierno central a través de los gobiernos regionales de cada departamento del Perú ha venido impulsado una serie de proyectos de edificación que vienen siendo licitados por empresas constructoras y, en algunos casos particulares, también se licita la gestión del proceso de construcción de trabajo de obra con la finalidad de poder cumplir los plazos contractuales establecidos; ya que, la gestión del control de la planificación de obra es mucho más efectiva. Muchos de los proyectos de construcción administrados por el estado como colegios, hospitales, casas – vivienda, entre otros no se ha podido culminar en el plazo establecido y otros muchos ni siquiera se han culminado por múltiples factores, en su mayoría, relacionado a la mala gestión de la planificación de obra. La mala gestión de una planificación de un proyecto es uno de estos factores donde la empresa gestora y usualmente la empresa o entidad representante del estado como las gerencias de construcción locales de cada ciudad no logran gestionar un control antes, durante y después de la ejecución del proyecto de obra.

El presente estudio considera que es necesario que para lograr que un proyecto pueda obtener resultados óptimos es menester que muchos factores cambien o sean controlados; por

ello, se cree importante realizar un estudio que se enfoque en los factores que generan una mala gestión y planificación de obra.

El Hospital Santa María de Cutervo inicio su construcción en abril del año 2016. El presupuesto contractual inicial aprobado fue por un monto de S/. 15 702 367,88 para la construcción de la infraestructura además de S/. 25 292 068,04 para el equipamiento médico; sin embargo, después de cuatro meses la empresa constructora amparada en el error del expediente técnico procede a pedir un adicional con un monto ascendente a S/ 39 880 602,06; por lo que el proyecto terminó con un presupuesto total aprobado de S/. 81 260 931,35. El proyecto finalmente continuo su construcción hasta febrero del año 2019 en donde se pudo culminar con gran porcentaje de avance del casco estructural y acabados de la infraestructura, así como las instalaciones presupuestadas en su mayoría. Para finales de febrero del año 2019 el estado por intermedio de la gerencia Sub Regional de Cutervo disolvió el contrato por no haber culminado con el 80% del avance de mes a mes reiteradamente. De aquí, el estudio analizará la situación desde un punto de vista de la planificación de la programación de trabajos de obra de todas sus partidas y especialidades para esta edificación apoyado con la herramienta de programación de líneas de balance (LoB) y se buscará e identificara las posibles ventajas que se generan contra una programación convencional.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Analizar la incorporación de líneas de balance (LoB) dentro de la gestión de proyecto “Construcción Hospital Santa María Cutervo Nivel II – Cutervo, Cajamarca”

1.1.2. Objetivos específicos

- Planificar mediante líneas de balance (LoB) la programación del proyecto “Construcción Hospital Santa María Cutervo Nivel II – Cutervo, Cajamarca”
- Proponer alternativas de mejora acerca de la planificación del proyecto en mención en sus diferentes etapas de obra utilizando la herramienta línea de balance (LoB)
- Verificar el impacto que produce, en una gestión de proyecto, el uso de líneas de balance (LoB) comparado con una programación convencional.
- Comparar modelos de planificación propuesto con la información obtenida del proyecto en sus velocidades de ejecución y en las gráficas obtenidas.
- Realizar un análisis del proceso de elaboración y puesta en obra de una planificación con líneas de balance comparado con un cronograma convencional.

1.2. Justificación

En estudio surge en la búsqueda de herramientas que permita a los ingenieros constructores brindar una nueva metodología, con una aplicación verificada en un proyecto, para su posterior implementación en programaciones de obra; ya que, actualmente, existen numerosos proyectos de construcción en el Perú con un alto grado de deficiencia en el planeamiento y cumplimiento de cronogramas constructivos. La mala planificación en obra

no permite asegurar el fiel ritmo de un cronograma de obra ya programado; más aún, en proyectos en donde existe un riguroso número de partidas congruentes y dependientes. Por lo tanto, existe una necesidad de comprobar herramientas de planificación que generen confianza y sea certero durante la planificación de obra. Es de todo ello que buscar comprobar alguna herramienta de planificación es necesaria.

De acuerdo con la definición propuesta por la Universidad de Barcelona, correspondiente a sus estudios realizados y data definida, anuncia que las desventajas de los diagramas Gantt para la planificación de proyectos de construcción se detallan en los siguientes ítems:

- Puede resultar demasiado sencilla para la gestión de proyectos complejos.
- No es de gran utilidad si el proyecto es muy dinámico.
- Su uso no es aconsejable en proyectos demasiado pequeños.
- No es indicado para proyectos de configuración lineal.

Se precisa que la herramienta metodológica Gantt, comúnmente, es la más usada para la planificación de proyectos de construcción. Sin embargo, justamente son estas desventajas anteriormente detalladas, entre muchas otras, las que las líneas de balance buscan subsanar y convertir en una herramienta de planificación más efectiva y consistente para los ingenieros constructores. Adicionalmente, se busca evaluar la factibilidad del uso de líneas de balance con la implementación en un proyecto de edificación ya construido para poder obtener resultados concluyentes.

El nuevo mundo tecnológico obliga a todos los sectores a buscar una mudanza a nuevas herramientas que brinden rápidas soluciones y el estudio intentará generar confianza y demostrar resultados óptimos y adaptables al sistema constructivo.

1.3. Alcances y limitaciones

1.3.1. Alcances

El alcance para el desarrollo de la presente tesis comprende el análisis de la programación de obra desde las fases iniciales del proyecto Hospital Santa María Cutervo – Cajamarca. Ello comprende la elaboración de la programación de obra desde los diseños, metrados y costos del proyecto. Además, se plantearán tres modelos que permitan comparar, recomendar y concluir el uso de las líneas balance. Los modelos planteados serán programados y planificados con las partidas de obra del proyecto referenciado.

Para la elaboración de dicha herramienta (LoB) se deben considerar y analizar las recomendaciones hechas por los expertos y experiencias observadas en otros proyectos. Por ejemplo, para buscar la linealidad de las curvas se deben considerar tiempos respecto a la actividad realizada y tasas de producción que busquen establecer un rango lineal que permita ajustar la curva generada.

El estudio analiza la ruta de una programación de obra, además, se establecerá un patrón comparativo entre la programación planteada con líneas de balance y el cronograma GANTT trabajado en el proyecto con el objetivo de observar las ventajas y desventajas de la implementación de la herramienta en el proyecto definido. Adicionalmente, se dejará constancia de las suposiciones y los métodos usados para la elaboración de las líneas de

balances y los patrones considerados para establecer una comparación entre los cronogramas ya existentes.

1.3.2. Limitaciones

El presente estudio pretende recolectar información necesaria para la simulación y planeamiento de la programación de obra con uso de líneas de balance. No obstante, las condiciones de recojo de datos, así como la manipulación de los mismos es integro de los actores que participaron en el proyecto; quienes recogieron los datos y hacen el estudio no participaron en la elaboración y gestión de ninguno de los datos, por lo que es certeza de la fuente que entrega los datos, en este caso, la gerencia Sub Regional Cutervo (entidad representante del estado y responsable de la coordinación de obra). Adicionalmente, hay algunos datos como valorización o sustento de metrados que no están en los datos recogidos o no va a acorde con un sustento debido por lo que es necesario tratar los datos con precaución.

El programa conocido que es usando para el dibujo de líneas de balance es el Vico Office Schedule Planner, que trabaja con ambos cronogramas maestros conocidos, Gantt y líneas de balance; sin embargo, su uso licencia limita su aplicación para la presente tesis. El programa utilizado para la elaboración de las líneas de balance es el EXCEL a falta de un software exclusivo de dibujo de las líneas de balance lo que limita su extensión de uso a otro tipo de programas.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

2.1. Marco teórico

A lo largo del tiempo las herramientas de planificación han estado en continuo cambio y evolución con el objetivo de lograr aprovechar los recursos eficientemente. Desde la década de los 60's se origina el término "Lean" como producto de las investigaciones realizadas por los ingenieros de la empresa ensambladora de automóviles Toyota Motor. El ingeniero Taichi Ohno intentaba buscar la manera de eliminar los residuos y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles a los clientes, sustituyendo la tradicional producción en masa, por la producción a pedido del cliente y evitar, además, la acumulación de mercancía (Ballard, 1999). El desarrollo de la idea trajo consigo el proceso de manufactura (Production System) que consiste en minimizar las operaciones para mejorar la producción de fábrica y pasar a abarcar, finalmente, el 40% de mercado de producción. La difusión de ideas de manufactura fundadas por Toyota System se difundió hacia América y Europa por los años 1975. Así al comenzar la década de los 90 la nueva filosofía de producción era conocida y llamada de

diferentes maneras como “producción sin perdidas” “nuevo sistema de producción” o “manufactura de clase mundial” (Koskela, 1992)

Para 1992, Koskela empezó a implementar la filosofía de “producción sin perdidas” para el sector construcción producto en el trabajo de grupo de investigado CIFE de la Universidad de Stanford, que sostuvo que la producción debía ser mejorada mediante la eliminación de flujos de materiales y que las actividades de conversión mejorarían la eficiencia. (Forbes, Ahmed, 2011)

En la actualidad, dentro de los proyectos de construcción existen numerosas herramientas de control y planificación de proyectos como el PERT, CPM, CCPM. Adicionalmente, se han ido incorporando nuevas metodologías como el planeamiento basado en localización y el modelado en 3D, 4D y 5D. Para el planeamiento basado en localización existen herramientas que permiten operar y generar el contenido que involucra la gestión de la planificación. Es aquí donde la herramienta línea de balance, diagrama de distancia de tiempo o diagramas de tiempo – camino conforman las ayudas necesarias en la gestión basada en la localización.

Para finales del año 2000 el concepto de servicio basado en localización o LBS se formalizó como todo un sistema técnico que transforma las cantidades en lugares y la información de productividad en duraciones fiables, hace topes explícitos y las previsiones de resultados futuros sobre la base de las tendencias historias y las restricciones de los futuros problemas de producción (Seppanen, Ballard y Personen, 2010)

La metodología considera que su uso en los proyectos es de tipo “lineal” o “rítmico”, estableciendo un patrón constante de ejecución, esto resulta en el establecimiento de un

cronograma y así las herramientas se relacionan más con la linealidad en un proyecto representada por el desarrollo en serie de las actividades que son reiterativas. Todas las actividades se encuentran conectadas y mantienen una simultaneidad establecida en sus ejes que se conjugando con la localización establecida en el proyecto.

2.2. Problemática de la planificación de proyectos de construcción

Las reformas más importantes para el desarrollo de un país vienen dadas por las políticas de los conglomerados políticos que alcanzan el poder y uno de los factores más importante que involucra el desarrollo económico de mucha gente son las inversiones en construcción de nueva infraestructura y viviendas que contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas; sin embargo, los incumplimientos de entrega suelen afectar y generar problemas a corto y largo plazo que perjudican esencialmente al usuario (M. Burgos y D. Avila, 2015)

Hay quienes han sugerido que los factores críticos responsables de la mala gestión se atribuyen a la mala planificación durante la programación al tener la urgencia de tener un cronograma (Rodríguez, 1994). Surgen debates sobre la eficacia de la planificación de proyectos de construcción atribuidos por varios factores como la mala calidad de la información que se brinda a los planificadores, rara revisión metódica de la planificación, ausencia de incorporación de mejoras de herramientas; por otro lado, un tema relevante, es la crítica hacia los planificadores novatos por parte de los que poseen experiencia; ya que, se critica que se enfocan más en la tecnología que en los problemas de construcción física (Winch y Kelsey, 2004).

En la literatura internacional no existe un consenso claro sobre la definición de los retrasos de construcción; sin embargo, aunque no existe una conclusión, existen aspectos fundamentales que definen los retrasos o extensión en el tiempo de concluir de obra (Stumpf, 2008). Los retrasos pueden ser el resultado de trabajos de extensión o que han sido suspendidos bajo muchas condiciones generales por los contratistas o ajenas, además, otros hablan de los retrasos como cualquiera acto que perjudica de manera adversa el proceso general del desarrollo del cronograma (MICHSPEC, 1997).

Una investigación realizada considero entrevistas realizadas a profesionales e investigadores del entorno de la construcción con la finalidad de identificar los principales problemas en la elaboración de la planificación. Dentro de los principales son el método inadecuado para la recopilación de la información y gestión, falta de comprensión de la naturaleza del proceso de planificación, métodos inadecuados para la coordinación y complicada estructura para el trabajo práctico (Li, et. al., 2006)

Ahora con respecto al control temporal en el proceso de planificación de los proyectos se pudo identificar cuatro problemas en la gestión y cinco pasos predominantes que conllevan a tener una regular gestión de la planificación (Olawale y Sun, 2014). A continuación, se detallan los cuatro principales problemas en el control:

A. Planificación:

- Límite o nula participación de los principales integrantes del proceso (Cliente, contratista principal, subcontratista, proveedores, etc.)
- Se presenta un exceso de confianza basado en la experiencia en lugar de una planificación formal.

- Existe una variedad en el uso de herramientas y su uso no estandarizado.
- No hay una línea entre los objetivos de programación; ya que, son múltiples e inconsistentes.

B. Monitoreo:

- Se presenta poco énfasis en el monitorio; ya que no existe una ausencia de vigilancia dedicada en el lugar; no hay una clara supervisión y presentación de informes.

C. Informes:

- El limitado mecanismo formal de presentación de información entre la oficina técnica y la ejecución del proyecto. Los informes no se elaboran debido al optimismo sobre el estado de la duración del tiempo; la etapa de análisis es dejada de lado; en el proceso general del control, la elaboración y entrega de informes no está bien integrado.

D. Análisis:

- El resultado son acciones reactivas y nada proactivas dada la serie de pasos para poder llegar al último.

Adicionalmente Olawa y Sun en su misma publicación detallan cinco pasos que conllevan a una regular gestión de la planificación

- Primer paso: Falta de participación de los involucrados directos de la cadena de suministro.
- Segundo paso: La programación contractual no siempre es entregado al equipo de construcción y en su lugar se entrega una programación más ambiciosa.

- Tercer paso: El proceso de monitoreo para al proceso de análisis no pasa por una etapa de informe consistente; sumado a que no se tiene definido quien realiza el monitoreo del progreso, si la oficina técnica o el equipo que ejecuta o reporta el progreso. El informe termina siendo realizado en reuniones de seguimiento lo que implica una no muy buena práctica.
- Cuarto paso: Análisis simplista que difícilmente revela la razón fundamental de la falta de progreso o detección de problemas que puedan afectar.
- Quinto paso: Medidas correctivas para encausar proyectos retrasados son reactivas y por lo general, no se terminan eficazmente.

Sumado a los problemas detallados existen detalles menores que son independientes al país o lugar en donde se esté realizando la planificación. El contexto peruano permite que todas las consideraciones señaladas anteriormente apliquen en los procesos de gestión de obras privadas y sobre todo públicas; ya que, hay una ausencia de mecanismo que permitan tener una gestión de calidad de manera práctica pero que permita tener en control durante todo el proceso de ejecución de un proyecto de construcción. Las herramientas modernas de gestión muestran una tendencia de lograr una practicidad en el control enfocando sus esfuerzos en la etapa previa de la ejecución de obra y así disminuir el número de restricciones de toda índole en la ejecución.

2.3. Lean Construcción

Es importante la definición de Lean Construction o LC para conceptualizar la diferencia en el marco de tesis y entender su función dentro de los proyectos constructivos.

De acuerdo con el Instituto de Lean Construction (ILC), el termino LC corresponden a una filosofía que mantiene una dirección hacia la administración de la producción en la construcción cuyo objetivo primordial es la de reducir o eliminar las actividades de producción en la construcción que no ofrecen valor al proyecto. El concepto LC busca la optimización de las actividades que si aportan valor; por ello, la filosofía Lean se enfoca en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución y búsqueda de un buen sistema de producción que minimice los residuos. Es a partir de esta última premisa se define a los residuos como todo aquello que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva.

Según Pablo Orihuela, anuncia que el objetivo de Lean Construction es la de eliminar o minimizar los flujos que los materiales deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de obra con el objetivo de obtener más valor en el productor final y de esta manera se optimiza la transformación del producto (2011, pag. 8)

En la filosofía Lean Construction, la planificación y el control, son procesos complementarios y dinámicos, en donde la planificación crea las estrategias necesarias con el objetivo de alcanzar objetivos específicos del proyecto que han sido considerados con antelación y se asegura el control de los eventos que se producirán después de la secuencia prevista. De aquí es que se obtiene una manera efectiva de aumentar la eficiencia en la construcción; es decir, con la planificación y el control. (Fayek, R. y Hafez, S. 2013)

Un error de pensamiento tradicional es ejecutar una construcción y solo centrarse en las actividades de concesión y no tener un control especializado en el flujo del recurso para lograr la generación de más valor en los productos obtenidos. Por lo tanto, la construcción en

este escenario es solo un modelo de transformación que difiere con una marcada diferencia en el modelo Lean Construction transformación-flujo-valor o TFV. (Senaratne S. y Wijesiri, D. 2008).

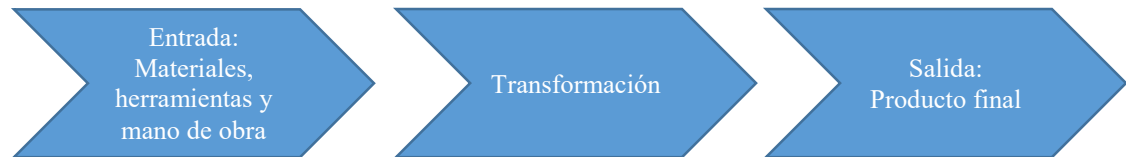


Ilustración 1: Método de ilustración tradicional. Adaptado Lean Construction en el Perú. Pablo Orihuela

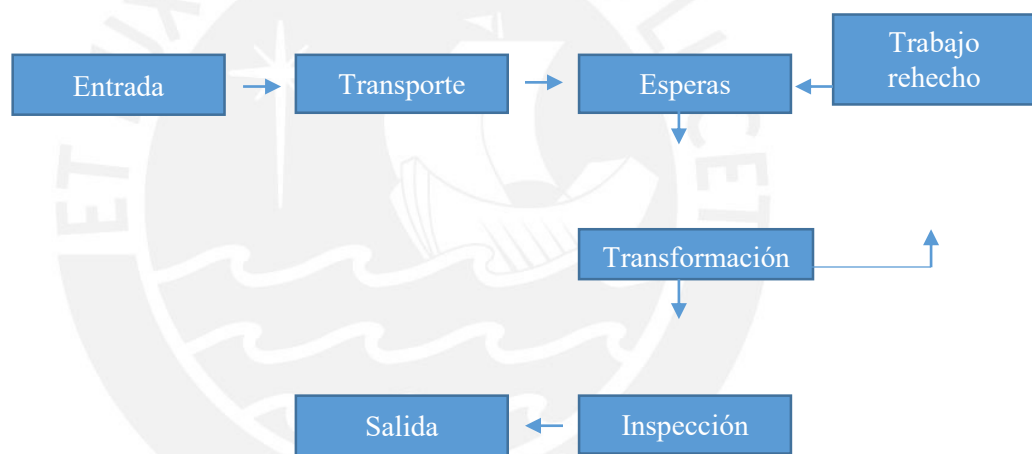


Ilustración 2: Modelo de producción Lean. Tomado de Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía de Lean Construction.

2.4. Métodos de programación en la construcción

Para las indicaciones de los métodos de programación es necesario seguir lo indicado por Kenley & Seppänen (2009b) sobre la tipología de métodos en la construcción, en la que se indica que hay dos métodos que han sido los más difundidos y usados. Por un lado, está el método basado en las actividades, donde se pueden distinguir dos métodos, principalmente, el Método de Ruta Crítica (CPM por las siglas en inglés de Critical Path Method), el cual es

determinístico, y la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas (PERT por las siglas en inglés de Program Evaluation and Review Technique), la cual es probabilística. Por otro lado, está el método basado en las locaciones (LBS), donde se pueden distinguir tres métodos, principalmente, como el método basado en locaciones enfocado en la producción de unidades (Líneas de Balance o LoB), método basado en la localización (líneas de flujo LBMS) y Método Takt Time Planning (TTP)

La presente tesis no se enfoca en las definiciones de los conceptos uno a uno; sin embargo, es necesario que cada uno mantenga una debida referencia. Para la metodología basada en las actividades se indica el Método de la Ruta Crítica que consiste en listar las actividades para luego asignar una duración estimada buscando las dependencias partida a partidas para establecer los puntos de inicio y fin lógicos y así, finalmente, se pueda calcular el camino más largo de duración (ruta crítica) y observar los tiempos de holgura de las partidas que no pertenecen a la ruta crítica, además tenemos el método de técnica de revisión y evaluación de programas (PERT) que es una técnica que aplica un promedio de estimaciones optimistas, pesimistas y más probables en el cálculo de las duraciones de las actividades individuales. La diferencia con la metodología CPM es que, en lugar de considerar inicios y fines tempranos y tardíos, el método PERT toma la duración de determinada actividad y calcula la probabilidad que el fin de la actividad ocurra de acuerdo a lo estimado ((Kenley & Seppänen, 2010))

Para la metodología basada en las locaciones, en primer lugar, se indicó el método LoB como una técnica de producción que se ha ido adaptando al sector construcción a lo largo del tiempo, puntualmente, una actividad de construcción está representada por dos líneas de balance donde la primera línea representa el inicio de la actividad y la otra el fin, además, la

metodología del trazo intenta asegurar el ritmo de producción constante para que las cuadrillas puedan viajar de forma continua entre las ubicaciones, adicionalmente, LoB transforma las cantidades en las ubicaciones y la información de productividad en duraciones confiables, hace que los amortiguadores sean explícitos y pronostica el desempeño futuro con base en alarmas y tendencias históricas de futuros problemas de producción (Seppänen et al. 2010). En segundo lugar, se indicó el método LBMS es un sistema técnico basado en la ubicación que usa las Líneas de Flujo para optimizar la continuidad del flujo de trabajo en función de la cantidad de recursos y su productividad para con ello poder pronosticar el rendimiento futuro basado en tasas de producción pasadas (Kenley y Seppänen, 2010). En tercer lugar, se indicó las TTP que se define como la unidad de tiempo dentro de la cual se debe producir un producto (tasa de suministro) para que coincida con la tasa a la que se necesita ese producto (tasa de demanda) (Tommelein, 2017). Es necesarios precisar que las metodologías indicadas son métodos alternativos en la gestión de la construcción (Brioso et al. 2016)

Las diferencias entre las LoB y las LBSM se pueden mantener significativamente indistintas si se enfoca el análisis macro en contraste con las metodologías CPM y PERT. El presente estudio se enfoca en evidenciar las ventajas de la planificación convencional o tradicional contra las metodologías de planificación más reciente o por localización, es por ello que, no nos enfocaremos en las diferencias que pueda haber en las metodologías LoB, LBMS y TTP sino, por lo contrario, se estar priorizando las semejanzas que permitan evidenciar el estudio.

2.5. Sistema Last Planner:

El sistema Last Planner o denominado por sus siglas en inglés LPS es un sistema que permite establecer una planificación al igual que muchas programaciones convencionales en proyectos de edificación como la metodología tradicional Gantt.

El desarrollo del LPS fue dado en el marco del Lean Construction como un sistema de planificación y control de la producción para mejorar la variabilidad en obras de construcción y, de esta manera, poder reducir la incertidumbre generada por las actividades cotidianas de obra ya programadas (Patel, 2011).

Explícitamente el LPS se especializa en la planificación de la construcción y la programación en donde todos los especialistas en el área como el jefe de proyecto, los contratistas, los subcontratistas, de los proveedores ven plasmado su programación. La principal fortaleza y diferencia del LPS es la programación de actividades con una información integrada, además que tiene una visión de producción de la obra y se cree que el flujo de construcción puede ser manejado como una de producción compatible con los lineamientos Lean Construction (Chua, Jun, y Hwee, 1999).

Controlar de una mejor manera forma la incertidumbre de la planificación al superar obstáculos como convertir la planificación en un sistema, medir el desempeño y analizar los errores cometidos en la planificación forma parte del sistema propuesto por Ballard y Howell (Botero y Álvarez, 2005).

En los últimos años, el creciente desarrollo de nuevos conceptos y herramientas Last Planner han sido relacionado al término Lean Construction. Sin embargo, no es del todo

cierto, pues los lineamientos Lean Construcción marcaron el camino para obtener el sistema Last Planner como fue descrito por Koskela.

La premisa fundamental del LPS es verificar que las actividades escaladas en prioridad a la ruta crítica sean previstas para su posterior ejecución y así evitar que la ejecución se interrumpa; en otras palabras, se encarga de comprobar con antelación que los requisitos sean verificados.

En este sentido el LPS desarrolla su planificación diaria mediante las siguientes 4 características para la futura ejecución del proyecto.

Plan Maestro, Lo que se DEBE/SHOULD hacer.

Plan lookahead, Lo que se PUEDE/CAN hacer.

Plan semanal, Lo que SE HARÁ/WILL

Seguimiento, PPC. SE HIZO/DID

De acuerdo con las gráficas de organización de Luis F. Alarcón correspondientes al LPS y de Koskela correspondientes a la organización convencional se observan las diferencias.

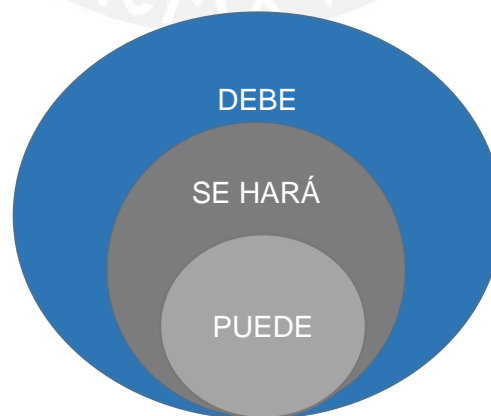


Ilustración 3: Planificación usual. Tomada de Un muro enfoque en la gestión de construcción sin pérdidas. Alarcón L.F.

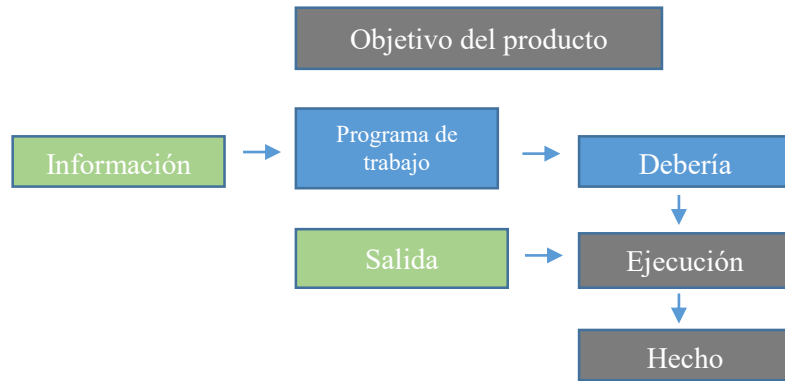


Ilustración 4: Sistema tradicional de planificación. Tomada de Application of the new production philosophy to construction. Koskela, L.

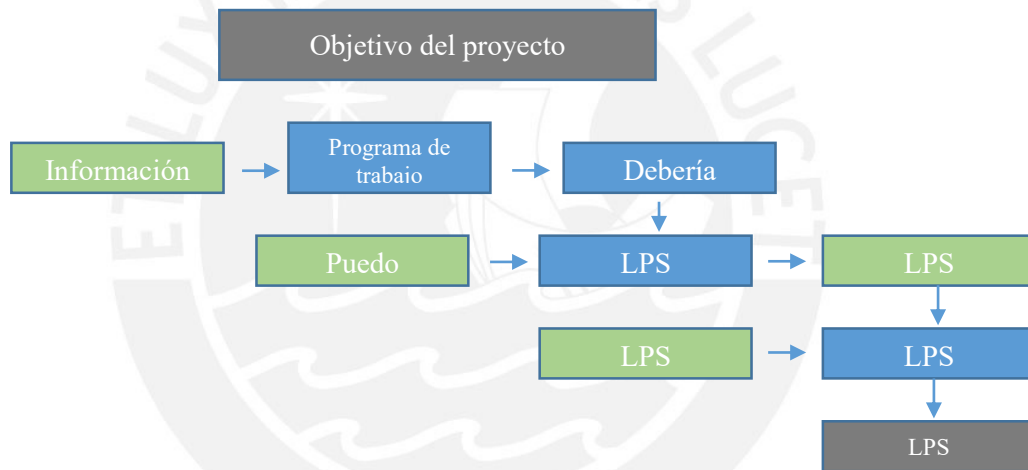


Ilustración 5: Sistema de Planificación Lean. Tomada de Application of the new production philosophy to construction. Koskela, L.

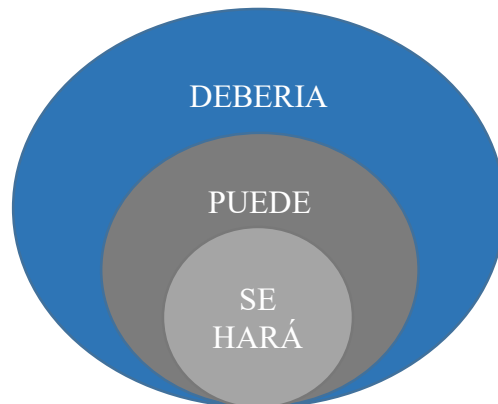


Ilustración 6: Sistema de planificación Lean. Tomada de Un muro en la gestión de la construcción sin perdidas. Alarcón, L. F.

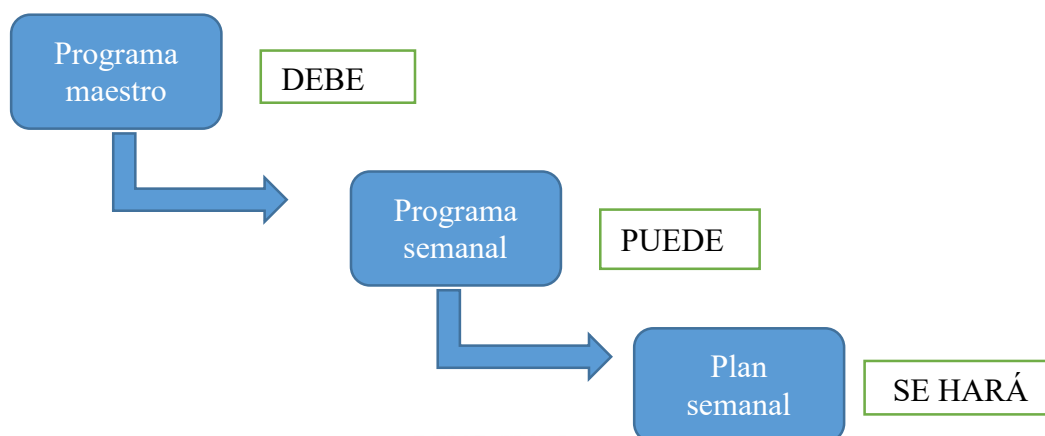


Ilustración 7: Sistema de planificación Lean. Tomada de Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: estudio caso ciudad de Medellín, Botero, L. F., Alvarez M.E.

A modo de resumen tenemos las indicaciones descritas anteriormente en el siguiente cuadro resumen para mejor observación a continuación:

PLANIFICACIÓN TRADICIONAL	SISTEMA DE CONTROL LAST PLANNER
La planificación tradicional se basa en la destreza del profesional a cargo de la programación.	Las actividades no deben comenzar antes de que todos los requerimientos, para la realización de las mismas, estén satisfechos.
Se mide lo realizado contra lo programado en la obra, pero no se mide el desempeño de la habilidad y la destreza para planificar.	Se debe medir y monitorizar la realización de las actividades.
No se analizan los errores de planificación y sus causas y, por lo tanto, no se genera un aprendizaje.	Las causas por las que una actividad no se puede realizar deben ser identificadas y eliminadas.
La gestión del tiempo se enfoca en el corto	Debe realizarse una programación a corto

plazo, descuidando el largo plazo	plazo, considerando aquellas actividades cuyas restricciones para ser ejecutadas, hayan sido eliminadas.
	Se debe evitar la pérdida de productividad, reasignando actividades cuando las inicialmente asignadas no se pueden ejecutar.

Tabla 1: Comparación planificación tradicional vs Sistemas Last Planner (Adaptado de (Orihuela & Ulloa, 2011) y (Nieto, 2009))

*** Asociación Lean Construction vs Last Planner System**

De acuerdo con los conceptos LC y LPS, es necesario establecer el vínculo entre los mismo a fin de establecer la asociación para su aplicación. En ese sentido, según Alan Mossman, investigador, escritor y entrenados acreditado de Last Planner, define el LPS como un sistema para la gestión colaborativa de la programación, producción, planificación y ejecución de los proyectos mientras que LC es una nueva forma de ver la producción, no como un modelo o unos pasos ya establecidos que se deben seguir, sino que pretende entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas Lean para la gestión de los proyectos constructivos en donde las herramientas son la aplicación de los principios teóricos para la práctica profesional (2014, pag. 4)

Es de aquí que se puede decir que una de las herramientas LC es el LPS que fue desarrollado por Ballard y Greg Howell como un sistema de planificación y producción,

diseñado para generar un flujo de trabajo predecible y rápido en la programación, diseño y construcción y puesta en marcha de los proyectos.

*** Proyectos repetitivos y no repetitivos**

De acuerdo la referencia Murgia y Urbina 2014, para poder realizar el análisis del proyecto del presente estudio es necesario contextualizar el presente proyecto dentro de las indicaciones de la tabla N° 2.

Proyecto	Tamaño de ubicaciones	Operaciones por ubicación	Recursos por ubicación	Flujo	Resultados por ubicación
Repetitivo lineal	Igual	Igual	Igual	Suave	Igual
Repetitivo no lineal	No uniforme	Igual	No uniforme	Moderado	No uniforme
No repetitivo	Desigual	Desigual	No uniforme	Turbulento	Desigual

Tabla 2: Características de los Proyectos | Fuente: Murguía, D. y Urbina, A. (2018) - Adaptación propia

De acuerdo con lo observado podemos notar que los proyectos de construcción pueden clasificarse como lineales, no lineales, repetitivos y no repetitivos. Como menciona, Mattila & Park 2003, los proyectos lineales repetitivos son aquellos en los que todas las operaciones y salidas son las mismas en cada ubicación; mientras que según Arditi et al. 2002, los proyectos no lineales repetitivos se caracterizan por operaciones repetitivas en cada ubicación, sin embargo, las salidas no son uniformes en cada ubicación. Por el contrario, un proyecto no repetitivo se caracteriza por operaciones y resultados desiguales en casi todos los lugares.

Para el caso del presente estudio Hospital San María Cutervo, está calificado como una edificación repetitiva no lineal dada la irregularidad en planta que presenta que genera el cambio de tamaño en las ubicaciones.

2.6. Líneas de balance:

2.6.1. Antecedentes:

La herramienta línea de balance o conocidas también como LoB comprende y se alinea con el sistema Last Planner. La aplicación de líneas fue desarrollada inicialmente por Goodyear Company que permite monitorear las actividades mediante líneas inclinadas indicando su tasa de producción. Dentro del sector construcción una de las primeras edificaciones en ser reportadas construidas con esta herramienta se encuentra el Empire States en New York - EE.UU. por los años 1920.

En diferentes estudios se han realizado diferentes variaciones a la técnica LoB con la finalidad de ajustarla a las necesidades propias del sector constructor. Algunos de estos desarrollos son: Velocity Diagrams por W. Roech (1972), Construction Planning Technique (CPT) por S. Peer & S. Selinger (1973), Production Method (VPM) por JJ. O' Brien (1975), Linear Scheduling Method (LSM) por D. W. Johnston (1981), Time Space Scheduling Method (TSSM) por O. Stradal & J. Cacha (1982), and Repetitive Project Model (RPM) por R. M. Reda (1990).

En 1968 Lumsden adapta las líneas de balance para su uso en la construcción de viviendas; en 1970, Khisty utiliza las LoB en un sentido clásico de un proceso de manufactura; en 1974, Carr y Meyer investigan la manera de encontrar la cantidad de recursos necesarios en las LoB para cualquier momento en el transcurso del tiempo. A partir de 1975, varios autores realizan investigaciones sobre la aplicación de las LoB en el sector constructor, presentando varios modelos de aplicación como, por ejemplo: Edificios con piso

típico (O'Brian 1984), carreteras (Ardity y Albulak 1986), etc. A partir de 1990 existen propuestas del uso de las LoB en un desarrollo formal para su aplicación en la construcción.

A pesar de su uso cada vez mayor, la línea de balance había tenido dificultades en su implementación, tales como muchos usuarios utilizaban el método sin considerar todas las conexiones lógicas entre actividades, el tiempo requerido para realizar el control manualmente era alto. Debido a estos factores, se desarrolló en Finlandia la primera aplicación computacional que hacía posible el control sistemático de la programación DYNAProject, que facilitó el uso de la línea de balance para la planificación de proyectos constructivos. Soini, Leskela & Seppanen, reportan beneficios en su aplicación, como disminución del riesgo de la programación, obtención de alternativas para facilitar el análisis, recorte en la duración del proyecto, visualización de la viabilidad de los escenarios propuestos y de puntos de control de la operación

En el año 2002 David Arditi et al, presentan las bases para un uso correcto de las líneas de balance, en el cual es importante diferenciar entre actividades lineales e independientes de características repetitivas en un proyecto de construcción y las que no cumplen con esta condición.

Desde su fundación en el año 2007 la empresa Vico Software Inc. ha desarrollado una serie de programas aplicados al mejoramiento de los procesos de la industria de la construcción. Este es el caso del software Vico Office Schedule Planner, que mediante los diagramas de línea de balance permite identificar los cuellos de botella y demás conflictos, así mismo la optimización de las cuadrillas de trabajo contratadas para el desarrollo de las actividades.

Durante el año 2009 GESCON desarrollo una investigación en la cual integro dos herramientas: la simulación de operaciones y el análisis de las líneas de balance, en el sector de la construcción con la creación de un modelo y la generación de escenarios a partir del análisis de la línea de balance del proceso constructivo implementado por la empresa.

Actualmente son utilizados diferentes programas de simulación de uso general, como ARENA, PROMODEL, ITHINK, SIMULATE, entre otros, para realizar simulaciones de operaciones de la construcción, gracias a la gran versatilidad que estos poseen, a diferencia de las limitaciones en capacidad, velocidad y plataformas en las que corren, herramientas computacionales de décadas anteriores.

Cada vez son mayores las aplicaciones de la simulación de operaciones en la construcción alrededor del mundo, con mayor implementación en Estados Unidos y Canadá. En el ámbito latinoamericano, Chile cuenta con un desarrollo en la implementación de la simulación digital. El Centro de Excelencia en Gestión de Producción (GEPUC), de la Pontificia Universidad Católica de Chile, adelanta trabajos de simulación de operaciones en la construcción, con la finalidad de mejorar los proyectos y optimizar las operaciones de construcción de alto impacto en relación a sus plazos y costos. De manera similar, el grupo de investigación NORIE de la Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS), en Porto Alegre–Brasil, adelanta trabajos en la aplicación de modelos de simulación de operaciones de la construcción.

En Colombia, la implementación de metodologías de simulación para los procesos constructivos es limitada, debido a la escasa investigación desarrollada hasta la fecha. La Universidad de los Andes ha trabajado sobre este tema en la última década. Sus trabajos han

tenido diferentes alcances como el desarrollo de herramientas de simulación de procesos constructivos, MOCSPROC y SISPLAN –programadas en Visual Basic y fundamentadas en la herramienta Micro Cyclone– y la aplicación de la simulación en dos proyectos de construcción en la ciudad de Bogotá – enfocados en el proceso crítico de los proyectos en la etapa de estructura de la construcción, con la finalidad de adelantar la fecha de entrega, teniendo por lo tanto, el tiempo como única variable de decisión.

2.6.2. Conceptualización:

La aplicación del método de la línea de balance fue implementada en la década de los 40's, durante la segunda guerra mundial, pero hasta la fecha ha sido muy poco usada en los proyectos de construcción, (especialmente en los de edificación), tiene muchas bondades que cumplen con la filosofía Lean, porque permite elaborar una planificación global sin llegar a detalles extremos, porque su representación da más información que los diagramas de barra, y porque es más amigable y facilita la comunicación con los diferentes involucrados del proyecto. Igualmente siendo la programación maestra, parte de los documentos contractuales, se logra una mejor interacción entre el contratista general y el propietario, quien generalmente, no requiere más detalle operativo que el mostrado por este método (Orihuela y Esteves, 2013)

De acuerdo con el desarrollo estructurado que viene atendiendo el estudio de tesis podemos observar que las líneas de balance (LoB) forman parte de una herramienta de planificación Last Planner System de la filosofía Lean Construction. Es con ello que LoB es un método de programación gráfico que considera a la localización explícitamente como una

dimensión. Con ello se puede optimizar los ahorros a través de la planificación de los recursos que genera un menor riesgo en la programación (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

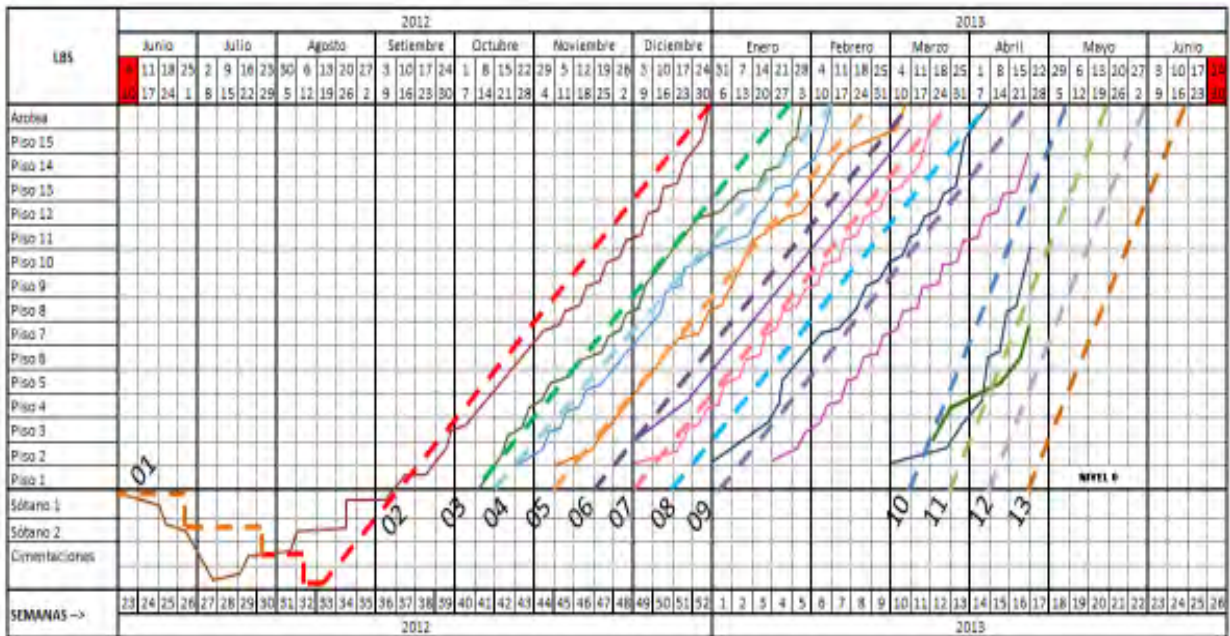
2.6.3. Estructura y requerimientos:

El método LoB, de acuerdo con Pablo Orihuela y Delfín Esteves, muestra los trabajos que se van a desarrollar en las partidas de una obra con un conjunto de líneas. Desde aquí es que cada una de las líneas generadas será una actividad a desarrollar, similar a un diagrama Gantt, en el eje horizontal se establece el tiempo mientras que en el eje vertical se establece la localización (sectorización) donde se desarrollará la actividad. Con los ejes establecidos se pueden configurar las líneas con sus respectivas pendientes de tiempo (eje X) vs localización (eje Y) del que se va a poder informar sobre la velocidad de trabajo de cada actividad. Es aquí en donde está la interpretación de las líneas respecto a la pendiente generada, si la pendiente es menor a planificado se está alertando que no hay la velocidad de trabajo esperada y se debe adoptar alguna decisión a fin de poder alinear las líneas. Sin embargo, si la pendiente es mayor que la planificada se estaría trabajando a una mayor velocidad de la esperada por lo que la continuidad de las partidas se vería afectada al existir un posible vacío o “quedarse sin cancha de trabajo” generando la pérdida de inventarios (2015, pag. 8).

La aplicación de LoB comienza dividiendo el proyecto en ubicaciones, seguido de dividir las actividades de construcción en tareas más específicas. El proceso de dividir el proyecto por ubicaciones es una de las mayores dificultades para aplicar el método, ya que la configuración espacial es única para cada proyecto y es susceptible de diferentes interpretaciones. La división del proyecto generalmente incluye una división por pisos, sin

embargo, el tipo de división también puede ser a discreción del usuario. El nivel de detalle puede alcanzar la división de un elemento en una serie de subelementos (R. Akbas, 2004).

En suma, podemos indicarlo antes mencionado de la siguiente manera que el planificador debe dividir el proyecto en el lugar en tres niveles diferentes. Primero, las unidades de ubicación se dividen por piso (nivel 1); segundo, por zonas diarias (nivel 2); y tercero, por subsectores o unidades productivas que se ejecutan durante la jornada laboral (nivel 3) (Brioso et al. 2016).



Item	Actividad	Item	Actividad	Item	Actividad	Item	Actividad
1	Muros Anclados	5	Tarrajeo interior	9	Carpintería de madera	13	Pintura 2da mano
2	Pórtico	6	Contrapiso	10	Aparatos sanitarios		Real
3	Tarrajeo cielorraso y vigas	7	Enchapés con cerámico	11	Vidrios y manoplas		Programado
4	Tabiques y columnetas	8	Empaste y pintura 1ra m.	12	Pisos		

Ilustración 8: Programa con líneas de balance. Tomada de aplicación de líneas balance a la planificación maestra. Orihuela y Esteves 2013

2.6.4. Utilidad:

Lo ideal para un mecanismo Gantt sería cumplir con la ruta crítica; sin embargo, en la programación con LoB, para un proyecto en ejecución, sería ideal que todas las líneas tengan la misma pendiente o sean paralelas; ya que, con ello, se tendrá un ritmo constante, lo que facilitaría que el Lookahead sea predecible y el análisis de restricciones semanal sea más estable (Orihuela y Esteves, 2013)

De acuerdo con Monteiro y Pocas (2011) con una línea de balance, el usuario tiene acceso rápido a una serie de información:

- Actividades programadas para una fecha o ubicación específica.
- Intervalos temporales o espaciales entre actividades; ritmo de producción.
- Comparación visual entre las tasas de producción de las diversas actividades (1, 2, 3 y 5 – Ilustración N° 9)
- Discontinuidades en la o las actividades (1 – Ilustración N°9)
- Dependencias entre actividades.
- Alarmas y advertencias: plazos que no deben superarse, organizados en el gráfico en forma de puntos.
- Comparación entre actividades planificadas, verificadas y planificadas.

Adicionalmente las líneas de balance nos permiten identificar una serie de deficientes en la planificación:

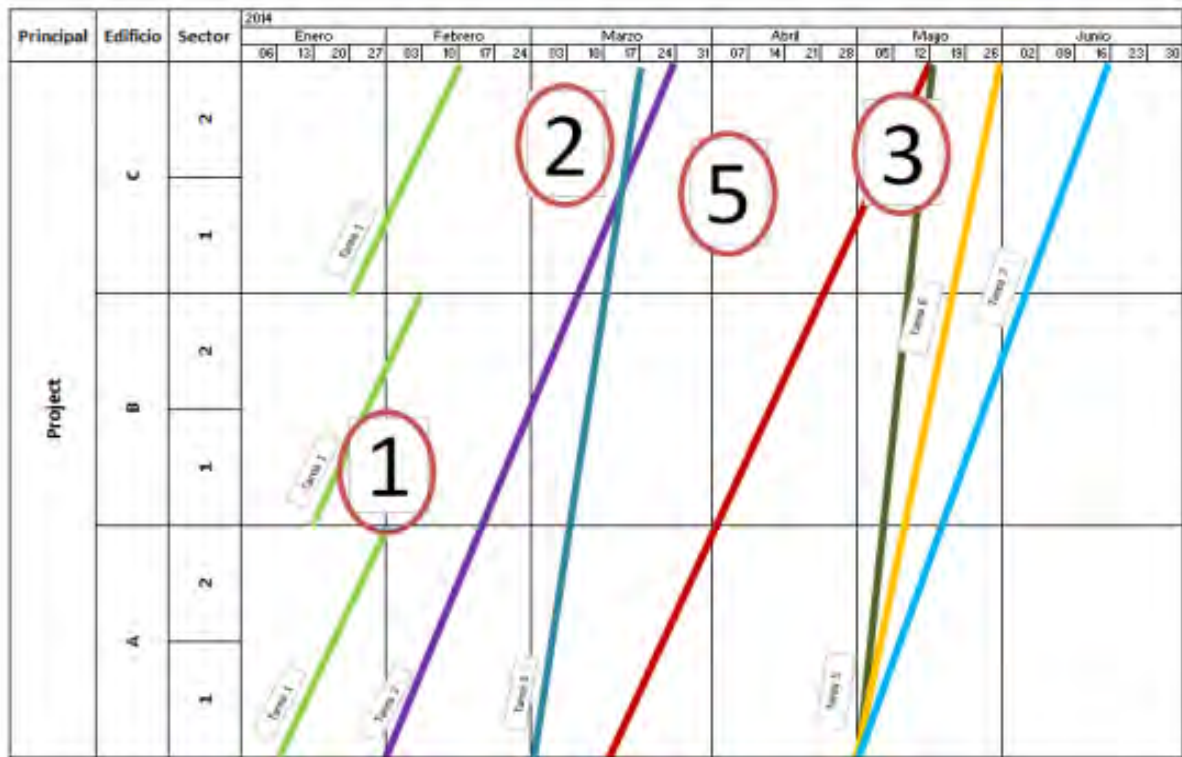


Ilustración 9: Identificación de deficiencias de planeamiento a través de Ld. Tomada de linha de balanço - uma nova abordagem ao planeamento e controlo das actividades da construção. Monteiro y Pocas

- La misma actividad que tiene lugar en diferentes lugares (1)
- Actividades diferentes que tienen lugar al mismo tiempo en el mismo lugar y tiempo (2)
- Diferentes actividades con fecha límite para finalizar en la misma fecha y en el mismo lugar (3)
- Diferentes actividades que comienzan al mismo tiempo en el mismo lugar (3)
- Lugares con largos períodos de tiempo sin actividad.

Las líneas de balance permiten una optimización de planificación simple y efectiva. Hay, principalmente, dos principios a seguir para minimizar las desviaciones en una línea de equilibrio, la primera es estimular la continuidad de las tareas, es decir, no tener la misma

actividad en diferentes lugares al mismo tiempo, y la segunda es sincronizar las tasas de producción para las diversas tareas, es decir, obtener el número máximo de líneas paralelas. Un diagrama optimizado de línea de equilibrio se caracteriza por la continuidad de las tareas, el ritmo constante de producción, el tiempo adicional y los períodos de espacio para compensar cualquier retraso, el tiempo libre al comienzo y al final de las tareas y la división equitativa del trabajo en el tiempo (Monteiro y Pocas, 2011)

2.6.5. Metodología:

- Definición de actividades: Categorización (EDT o estructura de descomposición del trabajo)

El EDT representa una estructura jerárquica donde la raíz definió el producto o servicio a proveer a los sucesivos niveles. A partir de ello, el segundo nivel describe las partes desglosadas del primer nivel, aquí se debe considerar que de cada elemento constituido en la primera fase debe ser único y describir todo el producto o servicio. El diagrama puede tener muchos niveles (aconsejable menos de 7 niveles), los niveles más altos son los más abstractos ligados a cargos gerenciales; mientras que los más bajos son los trabajos concretos a un nivel de tareas que muestra un nivel de dependencia superior (Leandro Antonelli, Adriana Chalar, Andrés Lisse, Antonio Pasquale, 2013)

El PMBOK sugiere utilizar al EDT como herramienta para definir el alcance de un nuevo proyecto. Es decir, lo sugiere para describir un producto o servicio que aún no existe. Sin embargo, en este trabajo se plantea utilizar el EDT como herramienta para relevar las capacidades actuales del área. El plan de trabajo propuesto para llevar a cabo el relevamiento consiste de 3 etapas: relevamiento, integración y validación. Este modelo concuerda con el

modelo de ingeniería de requerimientos propuesto por Loucopoulos [Loucopoulos 1995]. A continuación, se describen cada una de las etapas (PMBOK, 2013)

1. Relevamiento consiste en identificar las funciones que realiza cada una de las personas. Se deben hacer reuniones con los jefes de cada sector o reuniones generales con todos los integrantes de los equipos. En las reuniones con el jefe de sector, él determina los perfiles de cada integrante junto con las tareas que realiza. En cambio, cuando las reuniones se realizan directamente con los integrantes, ellos mismos indican sus funciones describiendo con más detalle lo informado por el jefe de sección. Es importante, por varios motivos, el relevamiento directo de las personas que hacen el trabajo. En principio son ellas las que conocen el detalle, es por eso que, aunque el jefe pueda dar generalidades de los trabajos, cada uno de los integrantes conoce las particularidades, y este nivel de detalle es necesario para los procesos de adecuación y mejora. Por otro lado, un aspecto clave en la construcción de EDT es el concepto de responsabilidad. Cada elemento del EDT debe tener un responsable. De modo que relevar de los integrantes facilita la identificación y confirmación de los mismos.
2. Integración de todos los EDT. La integración no sólo implica llevar a un único modelo la información relevada desde distintas personas. La integración implica analizar los modelos, para homogeneizarlos (en nivel de detalle, por ejemplo) y analizar solapamientos o inconsistencias con el fin de salvar cualquier error de captura cometido. Es por ello que ésta es una etapa crítica, en la cual se debe iterar con las personas que proveen la información, con el fin de gradualmente lograr un producto de calidad.

3. La última etapa es la de revisión o validación por parte de los jefes de sección. Si bien ellos son los que determinan la esencia de los EDT (o al menos la de los niveles más elevados), es necesario confrontar con ellos el detalle de los niveles más bajos indicados por las personas que trabajan en sus equipos, como así también, es necesario confrontar con ellos la integración de los distintos modelos en uno sólo.

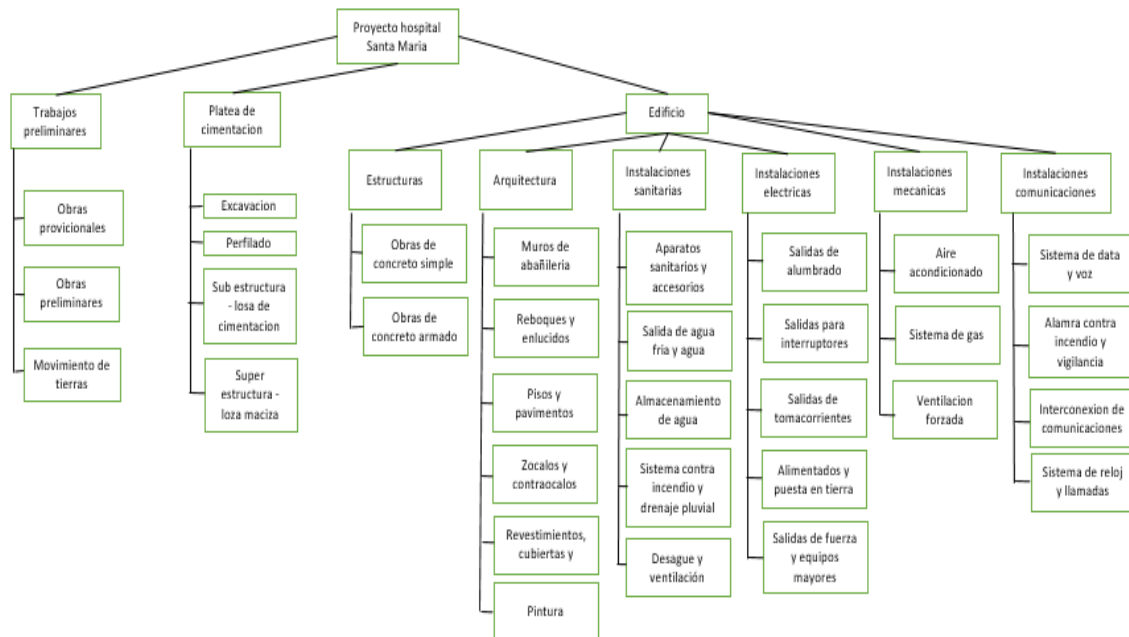


Ilustración 10: EDT de trabajo Hospital Santa María Cutervo

- Sectorización
 - a. Sectorizar el área de trabajo, identificar áreas pequeñas, que puedan ser construidas en un día de trabajo, curva de aprendizaje. La cantidad de trabajo debe ser equivalente entre sí en cada sector, es decir, todas las cuadrillas deben estar balanceadas para avanzar diariamente el mismo metrado por cada actividad, sin holguras ni pérdidas. De esta forma se minimizan los picos de trabajo, y por lo tanto se reducen los valles plagados de tiempos muertos. Para el caso del hospital en estudio, se analizará con la

misma sectorización trabajada por el contratista. A continuación, se muestran una selección de bloques identificada por el contratista no necesariamente sectorizada.

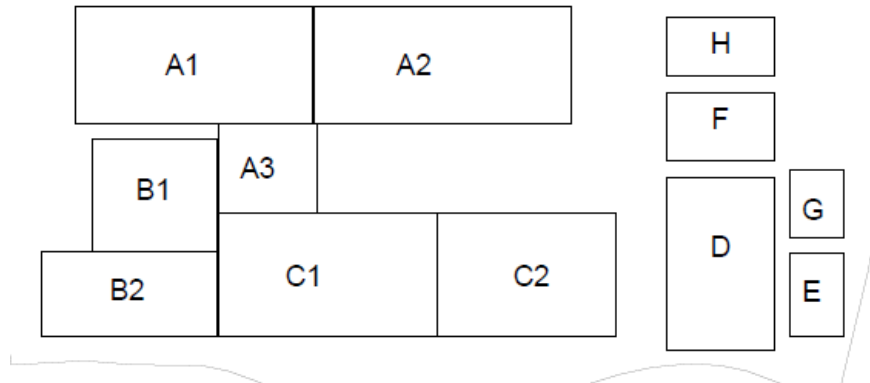


Ilustración 11: Bloques considerados en la sectorización por el contratista del hospital Santa María

- b. Listar actividades necesarias, El detalle de este listado deberá ser tal que permita entender claramente el proceso y a su vez que no signifique manejar muchas actividades que puedan confundir a los obreros. Las actividades consideradas al igual que con la sectorización serán consideradas por el trabajo ejecutados por la contratista. Más adelante se detallarán las actividades consideradas de 1 y de 2 nivel por la constructora.
- c. Secuenciar las actividades previamente listadas de modo que se cubran todos los sectores de trabajo. Este es el paso que toma más tiempo y es muy común que las primeras secuencias que se consideren no sean las mejores, éstas se irán mejorando a lo largo del proyecto. Se incluirán colchones de tiempo en función a la variabilidad de las actividades. Siempre se tiene que tomar en cuenta que la duración del tren debe encajar dentro de los hitos del plan general. De no encajar, revisar la secuencia constructiva diaria, y ver la manera de ajustarla. Tal vez sea necesario, por ejemplo,

disponer de mayor cantidad de equipos, o de mayor cantidad de obreros. Las actividades serán anexadas una con otras para el desarrollo de cada uno de los modelos que más adelante se van a detallar. La secuencia de las actividades será anexada en las hojas de Excel de trabajo.

d. Dimensionar los recursos, la cantidad de obreros y de equipos necesario, considerando metros de cada sector (del más representativo), velocidad de avance de cada cuadrilla básica, número de cuadrillas básicas para que las actividades se ejecuten en 1 sólo día (en lo posible). Al igual que los antes descritos, la asignación de recursos ha sido obtenida de los datos que la contratista considero, en algunos casos, por la usencia de información, se propondrá una asignación de recursos y cuadrillas e trabajo para cada actividad; sin embargo, a fin de lograr obtener los resultados esperados se va a trabajar con las cuadrillas consideradas por la contratista al momento de la ejecución del proyecto.

- Definición de velocidades:

Para la presente tesis se considerarán las velocidades relativas al proyecto que fueron tomadas en cuenta en la programación real (la velocidad se define como espacio entre tiempo). En el caso de las Líneas de Balance, se entiende a la velocidad como ritmo y se visualiza como la pendiente de cada línea de balance

También, se puede calcular mediante la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Velocidad 1} = \frac{\text{\#pisos}}{\text{periodo de tiempo}} = \frac{(P_n - P_o)}{(D_n - D_o + 1)}$$

Ecuación 1: Calculo de la velocidad 1

$$\text{Velocidad 2} = \frac{\% \text{avance} * \text{\# pisos}}{\text{\#meses}}$$

Ecuación 2: Calculo de la velocidad 2

El periodo de tiempo depende de cada planificador, este se puede interpretar como número de días o número de semanas. A partir de la velocidad, y de la suma de los metrados por sector de cada piso, se calcula el rendimiento de cada actividad.

$$\text{Rendimiento} = \text{velocidad} * \sum \text{metrado por piso}$$

Ecuación 3: Calculo del rendimiento de una actividad

Luego en base al rendimiento y el número de horas de trabajo por día, número de personas por cuadrilla y número de cuadrillas trabajadas, se puede calcular el ratio de cada partida.

$$\text{Ratio} = \text{Jornada} * \text{número de personas por cuadrilla} * \text{número de cuadrillas} / \text{rendimiento}$$

Ecuación 4: Calculo del ratio de una cuadrilla

Unidades: HH/kg, HHm3, etc. Tanto el rendimiento como el ratio, se presentan en unidades comparables a los actuales formatos, que se emplean para la planificación en la construcción.

2.6.6. Procedimiento:

A continuación, se enumeran los pasos a seguir en concreto para la elaboración de las líneas de balance (LoB)

1. Preparar un diagrama lógico de actividades.
2. Estimar las horas-hombre para ejecutar cada actividad.
3. Seleccionar los tiempos de espera condicionados (buffers) que eviten el riesgo de interferencias entre actividades.
4. Calcular el rendimiento requerido en cada actividad para completar la obra en el tiempo establecido
5. Elaborar una tabla con los cálculos necesarios.
6. Dibujar el diagrama o programa de avance, con los resultados de la tabla.
7. Examinar el diagrama y considerar la posibilidad de alternativas más "balanceadas", tales como:
 - ✓ Cambiar el rendimiento de alguna actividad (reduciendo o aumentando el número de cuadrillas a lo largo de la duración de la misma).
 - ✓ Despedir alguna(s) cuadrilla(s) y recontratarla(s) más adelante.
 - ✓ Ejecutar de manera simultánea algunas actividades.

2.6.7. Ventajas y desventajas:

A. Ventajas:

De acuerdo con el estudio *“Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual”* de Porras, Sánchez y Gálvez, publicado en el año 2014, encontramos las siguientes ventajas:

- La tendencia Lean Construction, Last Planner System y las herramientas como las Líneas de Balance se postulan como una nueva forma de pensamiento en la gestión de proyectos de cara a los nuevos proyectos en una nueva era de construcción.

- Desde 1992 donde Lauri Koskela elaboró su fundamentación teórica se han visto avances que han sido cada vez más fuertes y llevados a la práctica; de esta manera, los investigadores cimentan las teorías base en las nuevas herramientas y filosofías Lean para que las empresas constructoras sean las encargadas de implementarlas en sus proyectos.
- La grafica de líneas de balance muestra el ritmo global de obra y cumple con un objetivo básico en el seguimiento de proyectos de edificación que es la Teoría de Restricciones que prioriza preocuparse, en primer lugar, por la productividad global antes de la productividad local y, además, de observarse de la programación por fases e hitos bases en la contratación.
- La observación grafica en una sola vista muestra una ventaja de ubicación global del proyecto, además se señala áreas o sectores de trabajo donde se desarrollan actividades en común.
- Se puede observar desde etapas tempranas posibles correcciones a los ritmos de trabajo que se van realizando. Con dichas correcciones se puede beneficiar en una reducción de tiempo de plazo de obra.
- Dados los antecedentes, el trabajo con líneas de balance permite una disminución del riesgo de programación además de una mejora en la gestión de los recursos en general de obra.
- Permite observar cómo se produce la relación de las actividades con la sectorización propuesta por espacio y tiempo, además de la visualización de los hitos preestablecidos y análisis de escenarios propuestos.
- Permite una visualización del conjunto de la obra, lo que conlleva a un análisis en conjunto y evitar la carga de las muchas actividades de la obra.

B. Desventajas:

De acuerdo con el estudio “Aplicación del método de la línea de balance a la planificación *maestra*” de Pablo Orihuela y Delfín Esteves del 2011 y con el estudio “Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones” de Luis Botero y Harlem Acevedo encontramos las siguientes desventajas correspondientes a la aplicación LoB.

- La grafica de Líneas de Balance no muestra tanto el detalle interno de trabajo de una actividad, sino que muestra la correlación y desempeño respecto a las otras actividades del proyecto.
- Aunque día a día el uso de la línea balance es mayor a presentado dificultades en su implementación y la necesidad del uso de softwares como el DYNA Project creado en Finlandia (Leskela y Seppanen, 2004)
- Es necesario un grado de especialización para poder conocer las conexiones lógicas entre las actividades además de ser el tiempo requerido para realizar el control manualmente es alto sin los softwares (Leskela y Seppanen, 2004)
- La aplicación del método es particular en el contexto en el que se desenvuelve; en otras palabras; es no probable que se tengan los mismos resultados que los obtenidos en los muchos países pioneros en construcción.
- No existe aplicaciones con seguimiento y éxito comprobado de líneas de balance en Perú.
- Existe una resistencia al cambio acompañado por un temor a la incorporación de nuevas tendencias informáticas de implementación en los proyectos de edificación.

2.7. Contraste líneas de balance vs diagrama Gantt

2.7.1. Sistema Last Planner y la programación maestra:

Ahora se debe enmarcar la semejanza que existe entre el sistema Last Planner y la programación maestra perfiladas con sus herramientas en contraste Líneas de Balance y diagrama de Gantt respectivamente.

La metodología Last Planner recomienda planificar con mucho detalle los trabajos a medida de avance de su ejecución, así como elaborar planes para identificar y disminuir las restricciones de tareas; ya que, toda planificación es un pronóstico propenso a errores (Ballard, Hammond and Nickerson, 2009). El método tradicional de plan maestro de obras actualmente, cuenta con software especializados que generan los gráficos y dibujan la ruta crítica; sin embargo, todas estas técnicas que ofrece un programa no siempre suponen que todos los recursos estén siempre disponibles y que, además, no habrán inconvenientes o restricciones durante el desarrollo del proyecto; con todo ello, el cronograma maestro ilustra la secuencia de actividades y los tiempos que tomaría en hacerse cada una de las mismas marcando los hitos y las rutas críticas (Orihuela y Esteves, 2013)

Respecto al enfoque del planeamiento y control de producción dentro del proyecto es que este se centre en la comparación del cumplimiento de lo avanzado contra lo que se pronostica en el cronograma maestro; sin embargo, en la práctica que la disponibilidad de los recursos es revisada con antelación para poder realizar las asignaciones correspondientes. El nivel de detalle como los recursos, detalle de planos, materiales, equipos, etc. son muy rara vez descritos explícitamente en los cronogramas maestros. La mayoría de responsables en la

gerencia de proyectos usa el plan maestro no solo para planificar y control sino también como herramienta de administración en curso (Choo, Tommelein, Ballard and Zabelle, 1999).

Uno de las más importantes ventajas del Master Plan es la fijación de los hitos antes del inicio de la ejecución de un proyecto; sin embargo, se debe resaltar que un Master Plan no estima las contingencias y alternativas ante las restricciones que se pueden presentar en el desarrollo de la ejecución. Y como lo menciona Ballard, Hammand y Nickersosn en su estudio “Production Control Principles de 2009, una extensa exploración de las alternativas de restricción puede afectar el compromiso de la firma de un contrato; sin embargo, no se debería prohibir el desarrollo de un cronograma detallado al inicio de un programa; ya que ¿De qué otra manera podríamos explorar los riesgos y las estrategias alternativas, y por lo tanto tomar una decisión prudente sin seguir hitos del cronograma?

Los hitos que se definen en el sistema de plan maestro son definidos por todos los involucrados en la ejecución de un proyecto de obra desde el dueño, pasando por los gerentes hasta las lista de proveedores que van a intervenir apoyados en un especialista de producción integrado, esta persona o grupo de personas estima, en base a la información integrada, los tiempos estimados de desarrollo de la ejecución del proyecto considerando los procesos de producción para lograr una mejor calidad y productividad. Es de aquí que el grupo especializado en la planificación de la programación puede actuar en nombre de todos los involucrados en el proyecto lo que hace que la información se mantenga integrada y se cree un flujo de producción aplicable con los principios Lean Construction (Chua, Jun, and Hwee, 1999).

Es aquí es donde se planea una propuesta por Seppänen, Ballard and Pesonen, es el Sistema de Gestión Basada en la Localización – LBMS, el cual integra y personaliza el método de la Líneas de Balance para proyectos de construcción, usándolo no sólo para la etapa de planificación, sino también extendiéndolo para la etapa de control durante el desarrollo de la obra, de esta manera se puede mantener un control progresivo que involucre el comportamiento en todas las fases del proyecto (2010, pag 16)

2.7.2. Contraste Gantt vs LoB:

De acuerdo con Monteiro y Pocas en su publicación “Líneas de Balance - un nuevo enfoque para la planificación y control de actividades de construcción” del 2011 nos mencionan los principales contrastes.

Gantt	LoB
- Cada actividad escrita individualmente con información de su ubicación.	- Método grafico de ver la planificación en una vista.
- Si hay muchas actividades y ubicaciones entonces el calendario será extenso.	- Se observa la relación entre las tareas y proximidad en el espacio y tiempo.
- Todas las tareas tienen sus características agregadas.	- Las correcciones causadas por restricciones que tiene un impacto en todas las tareas consecuentes; sin embargo es visible inmediatamente.
- Pérdida de tiempo.	- Mejor manejo de la gestión de recurso.

- Mayor susceptibilidad al error de manipulación humano.	- Aumenta la posibilidad de reducir el riesgo la duración de un proyecto sin aumentar el riesgo.
- El gran contenido programado desalinea la planificación.	- Se programan tareas comunes a muchos lugares.
- Pertenece al quien hace la programación.	- Se calcula una sola tasa de producción por partida.
- Cada dependencia abarca varias páginas.	- Funcionalidad de importación y exportación para Excel y MS Project
- No hay simplicidad para observar las tareas.	- Pasa más tiempo revisando el calendario y planeando en lugar de estar atascado administrando miles de actividades - falta de visión general
- No es diseñado considerando la continuidad de los recursos.	- Pertenece a todas los miembros que ejecuten el proyecto

Tabla 3: Tomada de linha de balanço - uma nova abordagem ao planeamento e controlo das actividades da construção. Monteiro, A., Pocas J..

2.7.3. Beneficios Lean Construction

- Las herramientas que forman parte de la filosofía Lean Construction ofrecen mejoras claras en ahorro de costes y tiempos de ejecución de obras.
- La tendencia Lean Construction es una tendencia en el sector construcción debido a los beneficios que aporta al mejoramiento de la producción en los proyectos como se viene

probando en su creciente expansión mundial y crecimiento teórico del alcance de su implementación.

- De acuerdo al nivel de implementación y desarrollo que quiera implementar la filosofía Lean puede ser elaborada en etapas. En primer lugar, como una mejora en el concepto de planificación y control de las obras de edificación; en segundo lugar, el de reformular el concepto de planificación y control de las obras y, en tercer lugar, llegar a abarcar el ciclo de vida de todo el proyecto de construcción.
- Todas estas etapas corresponden a la evolución que la propia filosofía fue implementada en sus años de desarrollo.
- Actualmente las tendencias de investigación en el mundo están centradas en lograr que las tecnologías BIM hagan parte de las teorías Lean Construction y buscan alinearse con las herramientas como las Líneas de Balance y se asegura que la suma de ambas ramas generaría máximos beneficios en los proyectos.

3. CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

Para lograr obtener los resultados de líneas de balance se ha dividido en etapas desde la búsqueda de la información hasta la obtención de los resultados y las observaciones. La división se hizo en 8 partes iniciado con el reconocimiento del proyecto, en la que se describirá parte de la memoria del proyecto; la segunda, comprende la delimitación de los datos se serán posteriormente analizados en los modelos planteados; la tercera, cuarta y quinta, competen a la organización de los datos referentes a la selección de actividades, establecimiento de tiempos unitarios y definición de plazos de ejecución; para posteriormente, poder graficas las líneas de balance conforme al modelo establecido de trabajo, para la séptima y octava etapa se realizaron comparaciones y observaciones de los modelos obtenidos a fin de poder buscar indicadores que no permitan concluir con el estudio.

3.1. Primera Etapa o reconocimiento de proyectos de análisis

En la primera etapa de planeación por medio de líneas de balance se debe identificar el proyecto en el que se va a realizar de acuerdo de tipo de edificación que se va a escoger como una vivienda, un edificio, un hospital, entre otros. Para lo que se debe identificar las

características exactas como el número de pisos, cantidad de áreas, tipo de edificio, usos, entre otros. Será necesario, además, reconocer la ubicación de la edificación para conocer y planificar características externas al proyecto que pueden influenciar en el cronograma. Por último, se debe organizar y reconocer la información para tenerla al alcance.

- **Descripción del proyecto**

El terreno donde se construirá el Hospital Santa María, se encuentra ubicado en el sector Niño Dios, Distrito de Cutervo, Provincia de Cutervo, Región Cajamarca.

Según la información obtenida en el levantamiento topográfico proporcionado por el Área de Operaciones de la Gerencia Subregional Cutervo el área del terreno es de 9 386 205 m², siendo el perímetro total de 425,13 ml.

El Hospital Santa María, consta de un volumen principal con cinco niveles incluido el inferior; dentro de los cuales se encuentra la Unidad de Administración, Unidad de Consulta Externa, Unidad de Ayuda al Diagnóstico, Unidad de Hospitalización, Unidad de Centro Quirúrgico – Obstétrico, Unidad de Rehabilitación. Y en los volúmenes secundarios se encuentran las áreas de Emergencia, Esterilización Central, Servicios Generales/Nutrición, Anatomía Patológica y Unidad de Servicios Complementarios.

El proyecto tiene un área techada total de 14 957,18 m², que incluye las circulaciones y muros, según el programa médico arquitectónico aprobado por el Gobierno Regional de Cajamarca

El plazo de ejecución de la construcción del Hospital Santa María II – 1 es de 600 días calendarios, además tienes las siguientes áreas de terreno por sector exclusivo de análisis

Área de terreno por sector		
Bloque	Área (m2)	# pisos
A1	1 262,95	4 pisos + 1 sótano
A2	1 262,95	4 pisos + 1 sótano
A3	188,84	2 pisos + 1 sótano
B1	300	2 pisos + 1 sótano
B2	304,54	2 pisos + 1 sótano
C1	575,48	2 pisos + 1 sótano
C2	469,8	2 pisos + 1 sótano
Bloques DEFGH	1004,69	1 piso

Tabla 4: Tabla de áreas de proyecto hospital Santa María Cutervo

3.2. Segunda Etapa o delimitación de datos del proyecto:

En esta etapa se va a delimitar los datos que se van a utilizar en el desarrollo de la planificación de tesis como metrados, rendimientos, costos, planos, plazos contractuales, APUS, sectorización; en otras palabras, se va a depurar los datos que si se van a usar y cuáles no. De esta manera se va a poder tener una data específica y fácilmente reconocible para que pueda ser empleada en el momento. Aquí también ya se debe definir qué datos específicos se van a utilizar en el proyecto como planos, metrados, valorizaciones, presupuestos, entre otros, para poder realizar la selección de los mismos datos. Por último, será necesario definir datos externos que van a ayudar en la programación del proyecto como reconocer las fechas de feriados, horarios de trabajo, entre otros.

- **Delimitación de datos:**

Presupuestos: El proyecto inicialmente fue licitado por un solo monto; sin embargo, se produjeron acontecimientos externos que hicieron que inicialmente se aprobara un presupuesto base y en los subsiguientes meses se aprobara un presupuesto adicional y un presupuesto adicional con deductivo vinculante al contractual.

A continuación, se presenta el siguiente cuadro resumen de presupuestos aprobados para el trabajo.

Presupuestos de obra			
	Base	Adicional	Total
Infraestructura	S/ 15 702 367,88	S/ 39 880 602,06	S/ 55 582 969,94
Estudios de impacto ambiental	S/385 893,37	S/ -	S/ 385 893,37
Equipamiento médico	S/ 25 292 068,04	S/ -	S/ 25 292 068,04
	S/ 41 380 329,29	S/ 39 880 602,06	S/ 81 260 931,35

Tabla 5: Tabla de presupuestos aprobados para la construcción del proyecto Santa María

Para la elaboración de la tesis fue necesario considerar el presupuesto base y adicionales de infraestructura; ya que, ambos presentaban partidas de trabajo importantes y un número de metraje importante; además se plantearon tres diagramas de Gantt para cada presupuesto por lo que fue necesario trabajarlos por separado. Los 3 diagramas mencionados son Diagrama de Gantt contractual, Diagrama Gantt acelerado.

Además, se presenta el detalle de los planos en planta de los pisos construidos presentados a la supervisión.

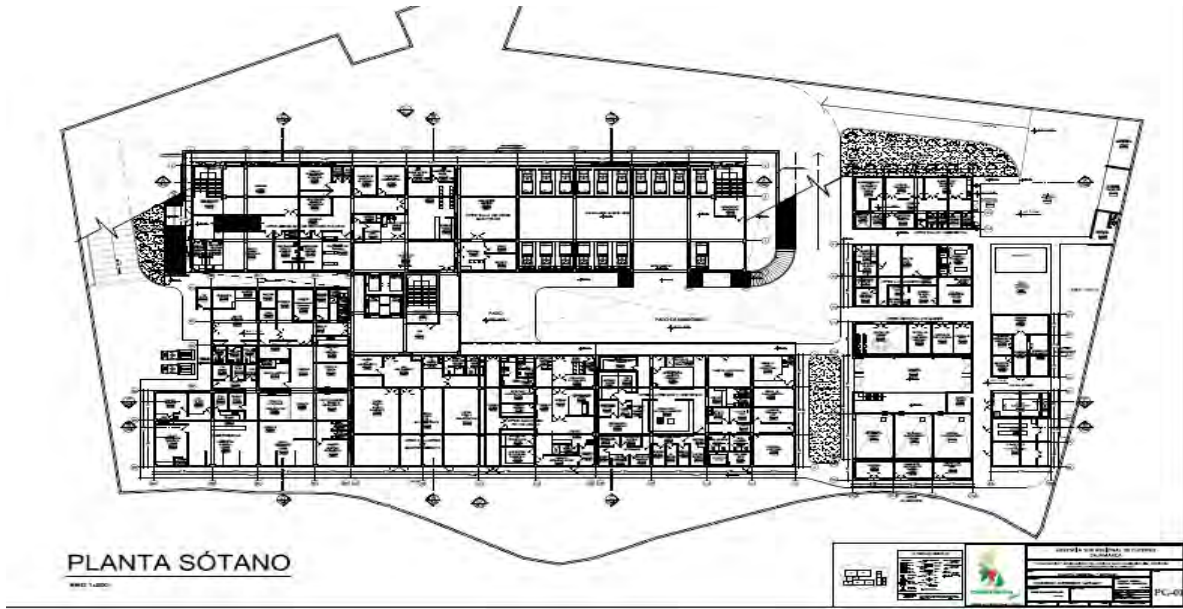


Ilustración 12: Planta de sótano hospital Santa María

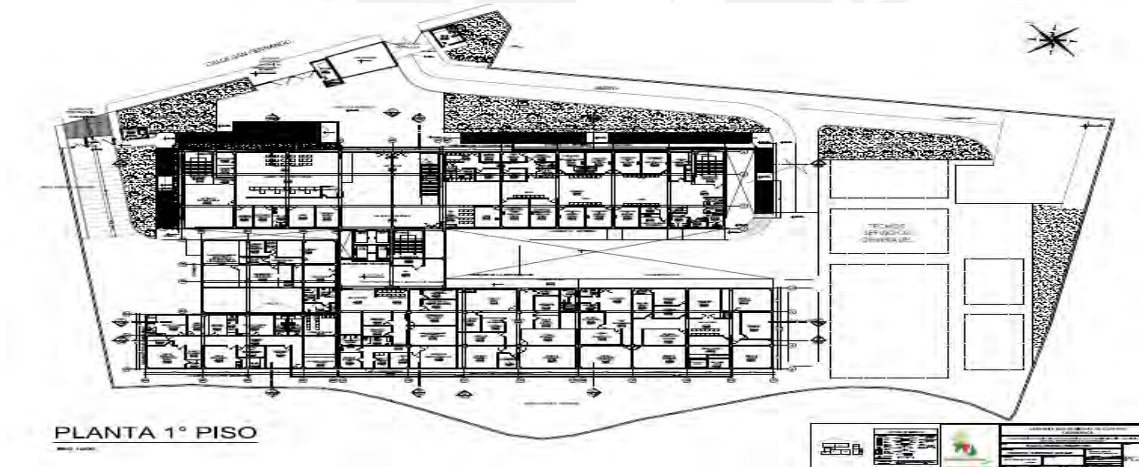


Ilustración 13: Planta de 1 y 2 piso hospital Santa María

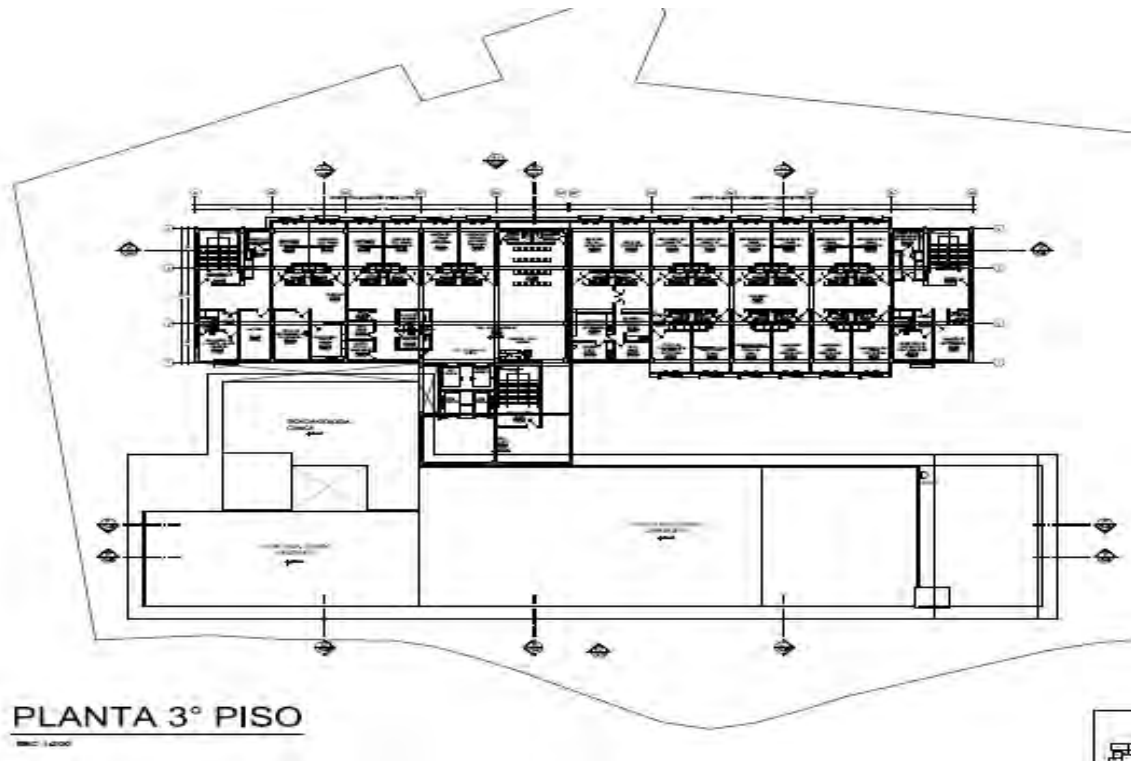


Ilustración 14: Planta de 3 y 4 piso Hospital Santa María Cutervo

La constructora del proyecto además presentó un resumen de metrados y sus rendimientos analizados para cada partida considerada. El detalle del rendimiento y metrados considerados por partida se encuentran en los anexos 5 y 6.

Por último, se presenta la sectorización considerada por la empresa ejecutora del proyecto para el trabajo de obra del hospital Santa María.

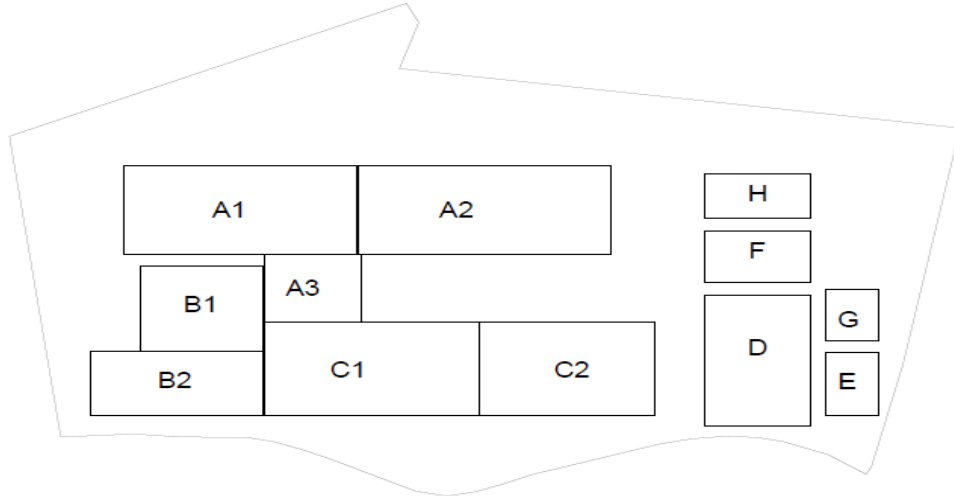


Ilustración 15: Sectorización considerara para el proyecto hospital Santa

María Cutervo

3.3. Tercera Etapa o definición de actividades principales:

Para la siguiente etapa se recomienda que se seleccionen actividades que más influencia van a tener en el proyecto. Para el caso del tema este proyecto de tesis mantendrá la dinámica constructiva utilizada en la elaboración del cronograma contractual Gantt. Es mejor si el reconocimiento se hace a un buen nivel de detalle a fin de poder mapear las actividades que van a ser relevantes y no surja una adicional que posteriormente podría dificultar el cronograma que se plantearía. Las actividades consideradas se encuentran en todos los anexos correspondientes a los modelos que más adelante se van a detallar.

Partidas	
Obras provisionales	Carpintería metálica y herrería
Obras preliminares	Carpintería de aluminio
Movimiento de tierras	Cerrajería

Obras de concreto simple	Varios
Obras de concreto armado	Señalización de normatividad clínica
Muros de albañilería y tabiques	Extintores
Revoques, enlucidos y molduras	Aparatos sanitarios y accesorios
Cielorrasos	Sistema de agua contra incendio
Pisos y pavimentos	Instalaciones especiales
Contra zócalos	Sistema de desagüe
Zócalos	Salidas para comunicaciones y señales
Revestimientos	Pruebas eléctricas
Cubiertas	

Tabla 6: Partidas principales consideradas por la contratista para su planificación y trabajo contractual

Estructuras	
Módulos	
	Obras preliminares
	Movimiento de tierras (módulos)
	Obras de concreto simple (módulos)
	Obras de concreto armado (módulos)
	Estructuras metálicas
Obras exteriores	
	Movimiento de tierras (Obra ex)
	Obras de concreto simple (Obra ex)
	Obras de concreto armado (Obra ex)

	Pavimentos
Cerco perimétrico	
	Movimiento de tierras (cerco per)
	Obras de concreto simple (cerco per)
	Obras de concreto armado (cerco per)
Muros de contención	
	Movimiento de tierras (Muros con)
	Obras de concreto armado (Muros con)
Arquitectura	
Módulos	
	Muros de albañilería y tabiques
	Revoques, enlucidos y molduras
	Cielorrasos
	Pisos y pavimentos
	Contra zócalos
	Zócalos
	Revestimientos
	Cubiertas y coberturas
	Carpintería de madera
	Carpintería metálica
	Cerrajería
	Vidrios, cristales y similares
	Escaleras

	Elementos metálicos especiales
	Pintura
	Jardinería
	Equipos contra incendios
Instalaciones sanitarias	
	Aparatos sanitarios y accesorios
	Salida de agua fría
	Almacenamiento de agua
	Sistema de agua caliente
	Sistema contra incendio
	Sistema de drenaje pluvial
	Desagüe y ventilación
Instalaciones eléctricas	
	Salida alumbrado de techo
	Salida alumbrado en pared
	Salida luz de cabecera
	Salida luz de emergencia
	Salida para interruptores
	Artefactos de alumbrado
	Salida para tomacorrientes
	Tableros de distribución
	Alimentadores
	Instalación de puesta a tierra

	Salida para poste de concreto
	Salidas de fuerza
	Equipos mayores
Instalaciones mecánicas	
	Aire acondicionado
	Sistema de ventilación forzada
	Sistema de gas
Instalaciones de comunicaciones	
	Salida de voz data y telefonía
	Salida para alarma contra incendio
	Sistema de vigilancia
	Interconexión de comunicaciones
	Sistema de reloj
	Sistema de llamadas de enfermeras
	Equipamiento informático y comunicaciones

Tabla 7: Partidas principales consideradas por la contratista para su planificación y trabajo adicional

3.4. Cuarta Etapa o definición y establecimiento de tiempos de trabajo por partida y sub partida:

En la siguiente etapa se van a definir los tiempos de cada una de las partidas acorde a las actividades que se han programada en la etapa anterior. Para ello, será necesario establecer las velocidades y rendimientos de trabajo con las consideraciones que serán detalladas en el desarrollo que pueden ser estimada por ratios o referencias de los usos que se realizaron en

el hospital en cuestión. Será necesario enlistar las actividades consideras colocar los tiempos considerados a fin de establecer un orden secuencial constructivo. Por ejemplo, a continuación, se detalle de un ejemplo extraído de los anexos para poder presentarlos a fin de explicar la definición de los tiempos unitarios. Aquí se considera los rendimientos, metrados, cuadrillas para calcular finalmente el tiempo de trabajo y real.

$$\text{Tiempo de trabajo} = \frac{\text{Metrado}}{\text{Rendimiento} * \text{Cuadrilla}}$$

Ecuación 5: Ecuación de cálculo del tiempo de actividad

Obras de concreto armado						
Vigas de cimentación	Unidad	Metrado	Rendimiento	Cuadrilla	Tiempo de trabajo	Tiempo real
Concreto pre mezclado en vigas de cimentación f'c=280 Kg/cm2	m3	7.49	25.0	1.0	0.3	1.0
Encofrado y desencofrado de vigas de cimentación	m2	99.83	8.0	3.0	4.2	5.0
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm2 grado 60	kg	661.08	200.0	1.0	3.3	4.0
Sobrecimiento reforzado						
Concreto premezclado f'c=280 kg/cm2 en sobrecimiento reforzado	m3	4.04	35.0	1.0	0.1	1.0
Encofrado y desencofrado en sobrecimiento reforzado	m2	241.60	15.0	3.0	5.4	6.0
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm2 grado 60	kg	141.81	200.0	1.0	0.7	1.0
Columnas						

Concreto pre mezclado en columnas $f_c=280$ Kg/cm ²	m ³	12.14	40.0	1.0	0.3	1.0
Encofrado y desencofrado en columnas	m ²	258.53	10.0	3.0	8.6	9.0
Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm ² grado 60	kg	3,685.40	200.0	2.0	9.2	10.0
Vigas						
Concreto pre mezclado $f_c=280$ Kg/cm ² EN VIGAS	m ³	16.73	50.0	1.0	0.3	1.0
Encofrado y desencofrado de vigas	m ²	167.34	10.0	3.0	5.6	6.0
Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm ² grado 60	kg	2,266.25	200.0	2.0	5.7	6.0

Tabla 8: Ejemplo de cálculo de tiempo de actividades para el concreto armado de vigas de cimentación

3.5. Quinta Etapa o definición y establecimiento de plazos de ejecución:

En la siguiente etapa se podrá colocar fechas y plazos estimados de ejecución de acuerdo a la sectorización adoptada y tiempos establecidos a considerar; ya que, se podrá saber cuál es el plazo de duración de una actividad y, además, se podrá establecer una ruta de trabajo con las actividades ya ordenadas secuencialmente. Posteriormente se debe fraccionar las fechas en días o semanas para lo que nos apoyaremos de una gráfica para tener una fácil lectura. Este trabajo será realizado de acuerdo al modelo que se vaya a trabajar.

3.6. Sexta etapa o creación de líneas de balance del proyecto de edificación:

En esta etapa se procede con la elaboración de las líneas de balance utilizaron las gráficas de ecuaciones de Excel. Dentro de los parámetros de va a colocar en el eje Y de las abscisas la localización como se haya considerado en las etapas anteriores (localización, sectorización) o en el eje de las ordenadas o eje X se colocaron los tiempos de días o semanas como se haya considerada en las etapas anteriores. Aquí es donde deben aclarar las consideraciones para la elaboración de las líneas de balance y las observaciones que se deben de tener para lograr que la programación función, el detalle es las consideraciones estará en el desarrollo.

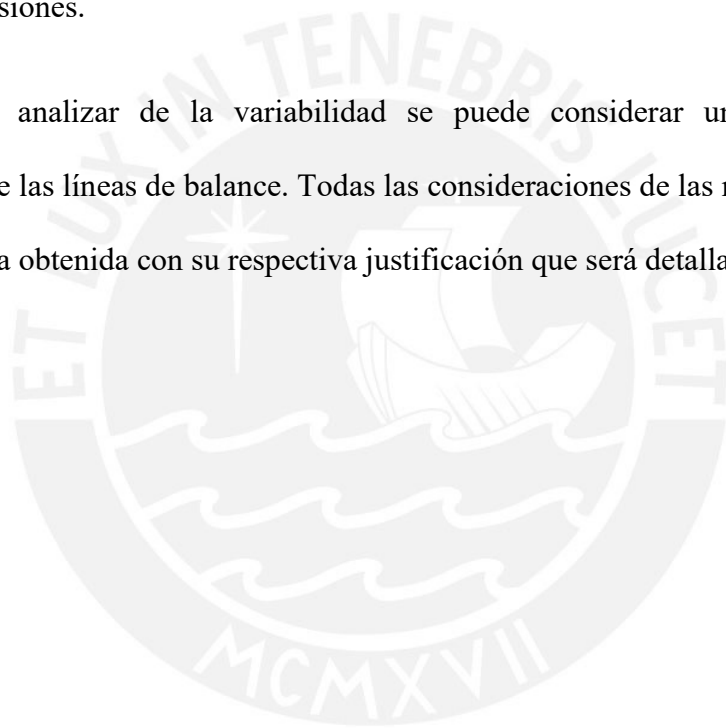
3.7. Séptima etapa o seguimiento y comparación con cronograma Gantt:

Con las líneas de balance ya generadas se inicia la etapa de ejecución donde se van a llevar a cabo todas las actividades que ya fueron consideradas en etapas anteriores. Para la siguiente etapa se observa el seguimiento de los diagramas y cronogramas que ya fueron planteados y, al igual que las 2 etapas anteriores, se deben indicar las consideraciones para el seguimiento que serán aclarados en el desarrollo con el objetivo de idealizar el proceso constructivo y al final poder lograr la comparación deseada con el Gantt existente y poder observar los retraso o adelantos, variación de rendimientos, desfase de actividades, variación en las cuadrillas, entre otros factores, para lo cual sería recomendable considerar algunas a partir del analizar del cronograma que ya se ha planteado.

3.8. Octava etapa u observaciones y conclusiones:

En esta última etapa se anotarán todas las observaciones que fueron aprendidas durante el desarrollo de la metodología LoB. Aquí se anotarán, también, las comparaciones que se hayan tenido con los cronogramas establecidos, además, de contratar las consideraciones que se tuvieron para el desarrollo. Será importante señalar el porcentaje de variabilidad entre los diagramas obtenido de modo que sirva para poder obtener consideraciones al momento de anotar las conclusiones.

Luego del analizar de la variabilidad se puede considerar un reajuste o una reestructuración de las líneas de balance. Todas las consideraciones de las restricciones serán basadas en la data obtenida con su respectiva justificación que será detalla en el desarrollo.



4. CAPÍTULO 4: MODELOS

En el presente capítulo se plantean y desarrollan tres modelos de planificación con el soporte de la herramienta líneas de balance. El objetivo de realizar dichos modelos es poder obtener datos que permitan brindar información que, posteriormente, pueda ser analizada y concluida. Los resultados que se buscan obtener son principalmente los gráficos de líneas de balance de cada modelo y las velocidades de trabajo de las partidas consideradas de las fuentes. Los gráficos nos van a permitir obtener conclusiones cualitativas de como la herramienta grafica de programación puede ayudar a una mejora o no de la gestión de una planificación de obra gráficamente y las velocidades nos servirán para comparar la correspondencia del ritmo de trabajo entre los modelos. Se tiene la premisa para los casos que un cronograma valorizado (modelo 2 o valorizado) debe trabajar de manera muy similar que un cronograma obtenido presentado en un inicio para el trabajo (Modelo 1 o adaptado Gantt). Si bien es cierto, en la práctica las valorizaciones pueden ser muy diferentes que cronograma planteado inicialmente, no debe de existir mucha diferencia en el ritmo de sus velocidades y ritmos de trabajo de las partidas. Adicionalmente, se presentará una

planificación desde “cero” pero considerando las pautas para la elaboración un cronograma con líneas de balance (modelo 3 o propuesto).

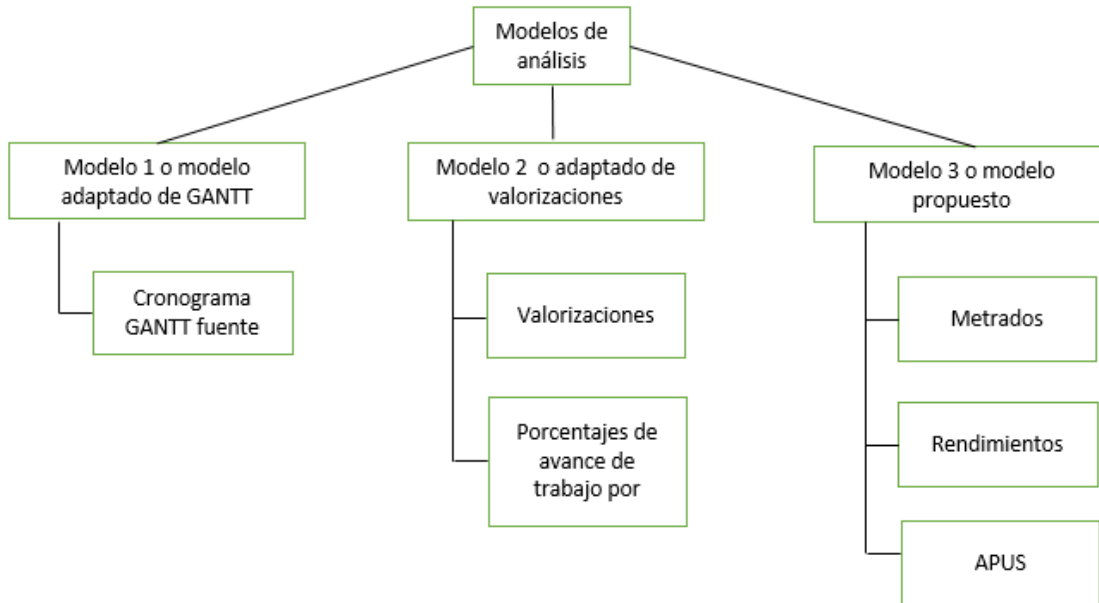


Tabla 9: Requerimientos para los modelos considerados

A continuación, se enumeran los modelos que se van a considerar con su respectiva explicación y consideraciones:

4.1. Modelos considerados:

4.1.1. Modelo 1 o modelo adaptado del Gantt

El modelo uno o, al que llamaremos como **modelo adaptado del cronograma Gantt** es un modelo que, como tal se le titula, está adaptado de un cronograma Gantt. Este cronograma Gantt en mención fue planteado por la contratista, encarga de ejecutar la construcción Hospital Santa María Cutervo, en una primera instancia, como propuesta de trabajo para la gerencia Sub Regional Cutervo y a la empresa supervisora encargada de

coordinar y supervisar, respectivamente, la ejecución de la construcción de la edificación. El modelo adaptado de cronograma Gantt será adaptado a partir de las fechas de inicio y fin de las partidas consideradas en dicho cronograma.

4.1.2. Modelo 2 o modelo adaptado de valorizaciones

El modelo dos o, al que llamaremos como **modelo adaptado de las valorizaciones** es un modelo que, como tal, está adaptado de las valorizaciones generadas por la contratista a lo largo de la ejecución del proyecto. En total la contratista realizó veintisiete valorizaciones de un presupuesto contractual y veintidós valorizaciones de un presupuesto adicional. La adaptación de este modelo consideró el procesamiento de todas las valorizaciones con el objetivo de buscar el porcentaje de obra avanzado por cada valorización y el número de meses que la valorización fue efectiva; de esta manera se obtiene el porcentaje de obra avanzada y el número de meses que esta estuvo en valorización lo que nos va a permitir calcular la velocidad de trabajo.

4.1.3. Modelo 3 o modelo propuesto

El modelo tres o, al que llamaremos como **modelo propuesto** es un modelo que, como tal, será propuesto como una alternativa de planificación óptima para la ejecución bajo las consideraciones que se necesitan para la elaboración de un cronograma con líneas de balance; para ello, es necesario conocer los metrados y rendimientos de las partidas que se van a considerar en el desarrollo de este cronograma propuesto.

4.2. Procedimiento y desarrollo

4.2.1. Modelo 1 o modelo adaptado del Gantt (Anexo 1 y 2)

- A. Identificar tipo de cronograma, número de edificios y número de pisos por edificio.
- B. A partir del cronograma general, seleccionar las partidas de control más influyentes. Para esta tesis y para una comparación efectiva de las velocidades, en este modelo se consideró las partidas de 1° nivel siguiendo la misma línea de las actividades consideradas en el diagrama Gantt de trabajo de la contratista tanto en el contractual como en el adicional. Ambos diagramas tenían partidas referentes como estructuras, arquitectura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas.
- C. Las actividades ya tienen fechas estimadas en el cronograma de Gantt por lo que se seleccionan el número de mes de inicio y de fin de trabajo y el número de piso que se avanza para calcular la velocidad y graficas las líneas de balance.
- D. Las unidades utilizadas son en las abscisas por semanas, o pueden estar por días, y en las ordenadas, por pisos o sectores. De esta manera, se obtiene velocidades con unidades pisos/semanas o pisos/días, etc. Para obtener pisos/semanas, se destina cada fecha a la semana correspondiente y lo mismo con los pisos. De esta forma se ordenan los tramos y se modifican las fechas para que se muestren por número de semana del proyecto.
- E. Para dibujar las Líneas de Balance se inserta las líneas de acuerdo a la semana (o día) y piso adecuado. Para esto, se aplica el tipo de gráfico de Dispersión XY (lineal) el cual permite seleccionar que corresponde al eje X y que corresponde al eje Y.
- F. Para el cálculo de la velocidad de cada actividad, se ejecuta la fórmula siguiente:

$$Velocidad = \frac{\text{Numero de pisos}}{\text{Mes (piso n)} - \text{Mes(piso 1)} + 1}$$

Ecuación 6: Velocidad modelo adaptado Gantt

Calculo de velocidad por partida - contractual: (Anexo 1)

En el siguiente cuadro se presenta el primer y último mes de trabajo de además del número de pisos trabajados en su totalidad. Además, se presenta el cálculo de la velocidad trabaja con la formula anteriormente descrita. Para el cálculo de la velocidad.

Partidas		# de pisos	Primer nivel/mes	Ultimo nivel/mes	Velocidades
Obras provisionales		1	1	10	0.1
Obras preliminares		1	2	4	0.33
Movimiento de tierras		1	4	11	0.13
Obras de concreto simple		1	6	13	0.13
Obras de concreto armado		5	6	14	0.56
Acabados húmedos	Muros de albañilería y tabiques	5	8	16	0.56
	Revoques, enlucidos y molduras	5	9	19	0.45
	Cielorrasos	5	10	19	0.5
Acabados secos	Pisos y pavimentos	5	10	18	0.56
	Contra zócalos	5	10	19	0.5
	Zócalos	5	10	19	0.5
Revestimientos y cubiertas	Revestimientos	5	13	17	1

	Cubiertas	5	13	17	1
Carpintería y señalética	Carpintería metálica y herrería	5	12	19	0.63
	Carpintería de aluminio	5	15	19	1
	Cerrajería	5	15	19	1
	Varios	5	15	18	1.25
	Señalización de normatividad clínica	5	18	19	2.5
	Extintores	5	15	19	1
	Sistema de desagüe	5	11	17	0.71
Sistema de agua contra incendio	5	13	16	1.25	
Instalaciones especiales y aparatos sanitarios	Instalaciones especiales	5	16	20	1
	Aparatos sanitarios y accesorios	5	17	20	1.25
Salidas eléctricas y pruebas	Salidas para comunicaciones y señales	5	13	17	1
	Pruebas eléctricas	5	15	18	1.25

Tabla 10: Cálculo de velocidades contractual del proyecto hospital Santa María Cutervo

En el cuadro presentado se estiman actividades específicas como cielorraso, extintores, señalética que han sido agrupadas como se puede observar en la columna de primer orden para mejor orden en las gráficas de líneas balance.

Calculo de velocidad por partida - adicional: (Anexo 2)

Similar al contractual se consideran las fechas de primer y último mes de trabajo de además del número de pisos trabajados en su totalidad. Además, se presenta el cálculo de la velocidad trabaja con la fórmula anteriormente descrita. Para el cálculo de la velocidad.

	Descripción	# de pisos	Primer nivel/mes	Ultimo nivel/mes	Velocidades
			Nivel S1 o nivel 1	Nivel 1,4	
Estructuras					
Módulos					
	Obras preliminares (módulos)	1	1	1	1.00
	Movimiento de tierras (módulos)	1	1	6	0.17
	Obras de concreto simple (módulos)	1	4	9	0.17
	Obras de concreto armado (módulos)	5	4	12	0.56
Obras exteriores					
	Movimiento de tierras (obra ex)	1	6	11	0.17
	Obras de concreto simple (obra ex)	1	7	10	0.25
	Obras de concreto armado (obra ex)	1	8	11	0.25
	Pavimentos	1	9	12	0.25

Cerco perimétrico					
	Movimiento de tierras (cerco per)	1	4	5	0.50
	Obras de concreto simple (cerco per)	1	5	6	0.50
	Obras de concreto armado (cerco per)	1	5	9	0.20
Muros de contención					
	Movimiento de tierras (muros con)	1	1	5	0.20
	Obras de concreto armado (muros con)	1	2	7	0.17
Arquitectura					
Módulos					
Acabados húmedo	Muros de albañilería y tabiques	5	7	15	0.56
	Revoques, enlucidos y molduras	5	9	16	0.63
	Cielorrasos	5	10	14	1.00
Acabados seco	Pisos y pavimentos	5	11	16	0.83
	Contra zócalos	5	13	18	0.83
	Zócalos	5	11	14	1.25
Revestimientos y cubiertas	Revestimientos	5	12	15	1.25
	Cubiertas y coberturas	5	13	16	1.25
	Escaleras	5	16	16	5.00
Pintura, jardinería	Pintura	5	15	20	0.83
	Jardinería	5	17	17	5.00
	Equipos contra incendios	5	17	20	1.25

Instalaciones sanitarias					
Almacenamiento de agua y salida de agua fría	Almacenamiento de agua	5	5	9	1.00
	Salida de agua fría	5	3	12	0.50
Desagüe y sistema pluvial	Desagüe y ventilación	5	3	10	0.63
	Sistema de drenaje pluvial	5	3	10	0.63
Sistema de agua caliente, Contra incendio y aparatos sanitarios	Sistema de agua caliente	5	12	15	1.25
	Sistema contra incendio	5	15	19	1.00
	Aparatos sanitarios y accesorios	5	15	20	0.83
Instalaciones eléctricas					
Salidas de alumbrado	Salida alumbrado de techo	5	8	15	0.63
	Salida alumbrado en pared	5	13	15	1.67
	Salida luz de cabecera	5	16	18	1.67
	Salida luz de emergencia	5	16	18	1.67
	Salida para interruptores	5	16	19	1.25
Alimentadores y tableros de distribución	Tableros de distribución	5	11	13	1.67
	Alimentadores	5	13	19	0.71
Salidas eléctricas, instalación tierra, artefactos y equipos mayores	Artefactos de alumbrado	5	16	20	1.00
	Salida para tomacorrientes	5	10	15	0.83
	Instalación de puesta a tierra	5	13	15	1.67
	Salida para poste de concreto	5	9	10	2.50
	Salidas de fuerza	5	11	14	1.25
	Equipos mayores	5	12	18	0.71

Instalaciones mecánicas					
	Aire acondicionado	5	15	17	1.67
	Sistema de ventilación forzada	5	16	18	1.67
Sistema de gas y pruebas	Sistema de gas	5	7	20	0.36
	Pruebas mecánicas	5	20	20	5.00
Instalaciones de comunicaciones					
Salida de voz, telefonía y alarma	Salida de voz data y telefonía	5	15	18	1.25
	Salida para alarma contra incendio	5	16	18	1.67
Sistema de vigilancia e interconexión	Sistema de vigilancia	5	18	19	2.50
	Interconexión de comunicaciones	5	16	18	1.67
Sistema de reloj y llamadas	Sistema de reloj	5	18	19	2.50
	Sistema de llamadas de enfermeras	5	17	19	1.67
Equipamiento informático y prueba de comunicaciones	Equipamiento informático y comunicaciones	5	17	20	1.25
	Pruebas comunicaciones	5	20	20	5.00

Tabla 11: Cálculo de velocidades adicional del proyecto hospital Santa María Cutervo

Al igual que en el cuadro contractual, en este cuadro presentado adicional existen actividades específicas, con mayor alcance en relación al contractual, que han debido agruparse para mejor orden en la programación con líneas balance.

A continuación, se presenta el diagrama de líneas de balance contractual donde se observa en el eje de las ordenadas el número de pisos trabajados considerados en el cálculo y en el eje de las abscisas el tiempo de trabajo en meses que duró la actividad considerada. Como se explica líneas anteriores el gráfico responde a uno de líneas de dispersión para poder reconocer los ejes XY en EXCEL. Se indica el primer y último mes de trabajo para los pisos avanzado y se traza la línea correspondiente.

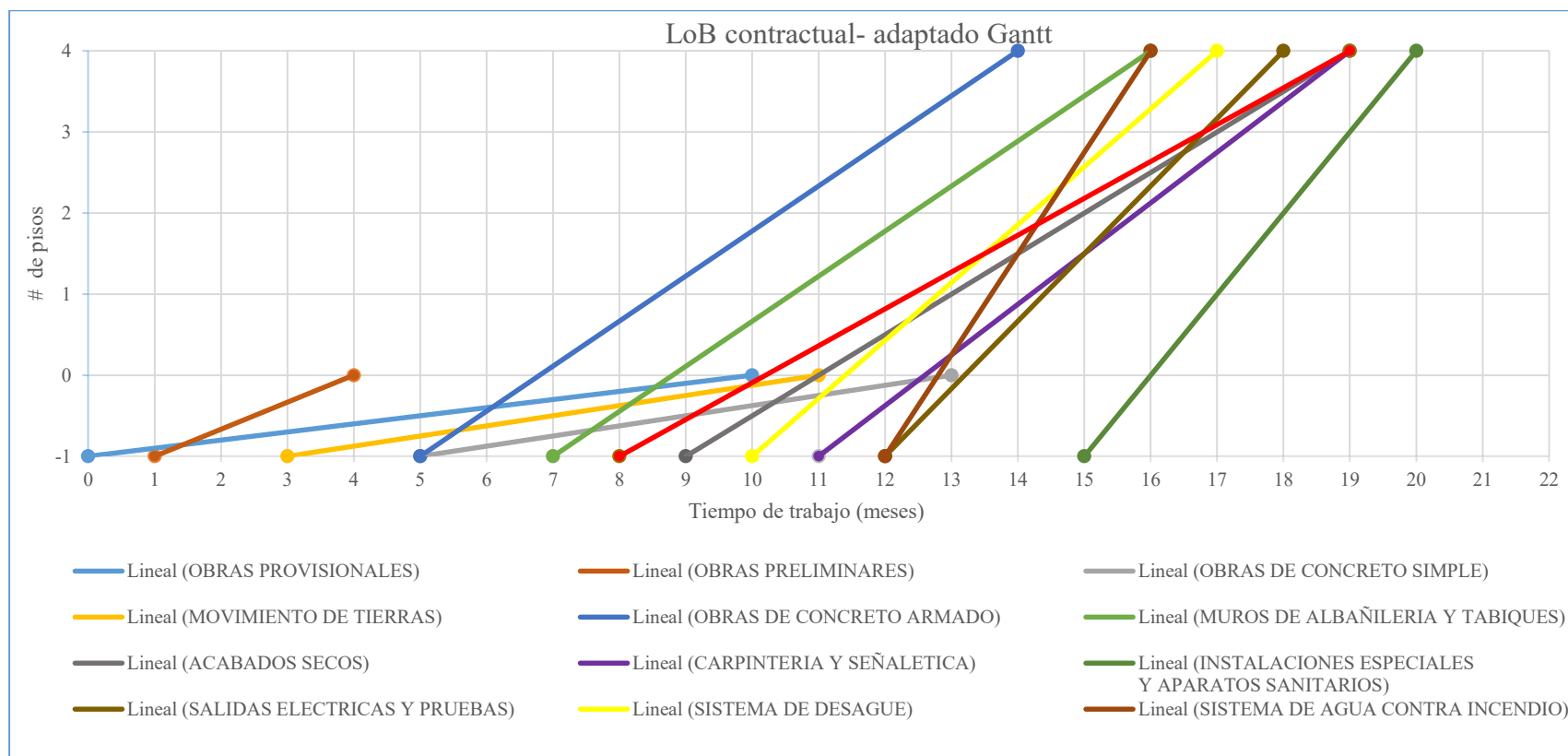


Diagrama 1: Grafica elaborada de líneas de balance adaptado de cronograma Gantt - contractual

A continuación, se presenta el diagrama de líneas de balance adicional donde, al igual que el contractual, se observa en el eje de las ordenadas el número de pisos trabajados considerados en el cálculo y en el eje de las abscisas el tiempo de trabajo en meses que duró la actividad considerada. Como se explica líneas anteriores el gráfico responde a uno de líneas de dispersión para poder reconocer los ejes XY en EXCEL Se indica el primer y último mes de trabajo para los pisos avanzado y se traza la línea correspondiente.

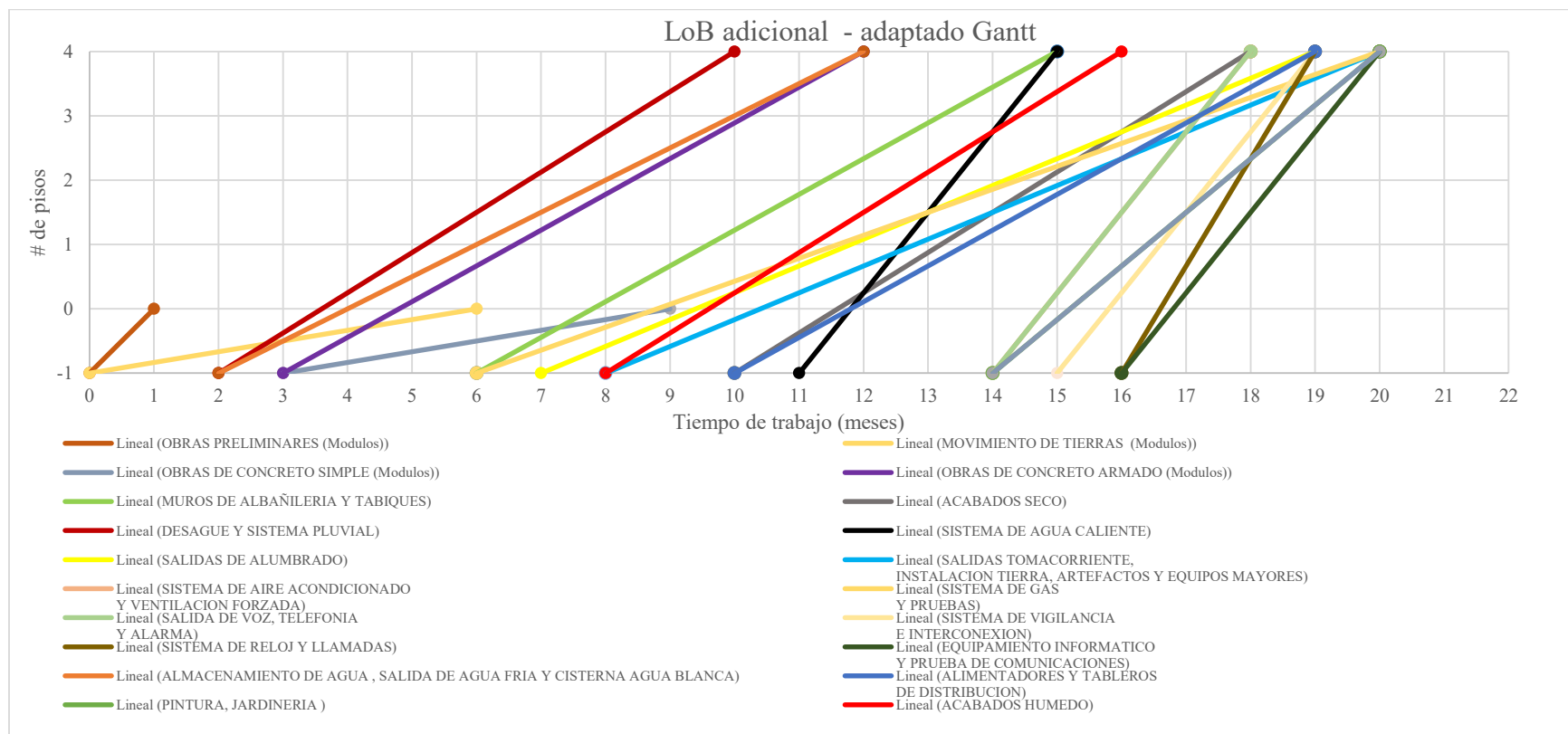


Diagrama 2: Grafica elaborada de líneas de balance adaptado del cronograma Gantt - Adicional

Lo que se logra observar en ambos gráficos, contractuales y adicionales, de líneas de balance es que no se muestra un orden de las partidas y tampoco se observa una correspondencia entre las mismas; al dibujar la adaptación Gantt se considera los meses de trabajo y la correspondencia de partidas como se consideró en el cronograma de trabajo original. Adicionalmente, se han agrupado las actividades específicas con títulos referentes que permiten mantener mayor orden y limpieza en las gráficas de líneas balance. Finalmente, no se observa un paralelismo en las líneas de ningún cronograma por lo que las partidas se muestran superpuestas unas con otras; esto puede generar restricción al momento de la ejecución de cada partida. (Análisis de resultados ver la partida de concreto armado empieza muy antes)

4.2.2. Modelo 2 o adaptado de valorizaciones

- A. Identificar el número de valorizaciones por presupuesto, en este caso 27 para el contractual y 22 para el adicional, número de pisos, porcentaje de avance por valorización.
- B. A partir del cronograma general Gantt por presupuesto se seleccionan las partidas de control más influyentes. Para esta tesis y para una comparación efectiva de las velocidades, en este modelo se consideró las partidas de primer nivel o partidas principales. Las partidas definidas se encuentran en las tablas anexas a la tesis correspondiente.
- C. Ya definidas las actividades, se obtienen los porcentajes de avance total de cada una de las valorizaciones para poder obtener el porcentaje total de avance de cada partida en la obra. Con ello, se puede obtener el porcentaje de trabajo total y los meses que fueron

valorizados para cada actividad, es decir, en el proceso de los resultados se obtiene el número de meses que llevo considerar el avance obtenido. Aquí se considera que el avance no necesariamente de llega al 100% de la valorización de la partida y que los meses valorización no son en orden (puede valorizarse una partida en el primer y último mes del número de valorizaciones); sin embargo, para poder obtener resultados que puedan ser comparados se considera en el número de meses de trabajo el primer mes de valorización y continuado el número de meses que se valoriza consecutivamente al primer mes valorizado; en otras palabras, se le da consecuencia a la valorización con si fuera de mes a mes, sin interrupción.

- D. Las unidades utilizadas son en las abscisas están por semanas, o pueden estar por días, y en las ordenadas, por pisos o sectores. De esta manera, se obtiene velocidades con unidades pisos/semanas o pisos/días, etc. Para obtener pisos/semanas, se destina cada fecha a la semana correspondiente al piso en el que se trabaja. Se ordenan los tramos y se modifican las fechas para que se muestren por número de semana del proyecto.
- E. Para dibujar las Líneas de Balance: se inserta las líneas de acuerdo a la semana (o día) y piso adecuado. Para esto, se aplica el tipo de gráfico de Dispersión XY (lineal) el cual permite seleccionar que corresponde al eje X y que corresponde al eje Y.
- F. Para el cálculo de la velocidad de cada actividad, se ejecuta la fórmula siguiente:

$$Velocidad = \frac{(\# \text{ avance } \times \# \text{ piso})}{(\# \text{ meses valorizados})}$$

Ecuación 7: Velocidad modelo adaptado de valorizaciones

Calculo de velocidad por partida - contractual: (Anexo 3)

A continuación, se ejemplificará el análisis de una partida analizada para el modelo adaptado de valorizaciones:

1. Se ha reconocido la partida de vigas de cimentación con sus sub partidas concreto premezclado en viga de cimentación $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, encofrado y desencofrado en vigas de cimentación y acero de refuerzo.
2. Se han separado en las columnas el número total de valorizaciones mes a mes siendo reconocidas tanto en partidas como en sub partidas.
3. Se ha colocado el porcentaje de avance del mes valorizado de acuerdo con el porcentaje registrado aprobado por la supervisión del proyecto.
4. Para el caso de la partida de viga de cimentación se observa que se inicia a valorizar desde la valorización numero 7 hasta la valorización número 11 (consecutivamente) y posteriormente en la valorización 16 y 21 (puntualmente).
5. Luego de reconocidos el número de valorizaciones se calcula el porcentaje de avance global, así como la velocidad obtenida con las siguientes formulas:

- $\% \text{ valorizaciones de sub partida} = (\text{metrado avance mes}) / (\text{metrado total de sub partida})$
- $\% \text{ Total avance sub partidas} = (\sum \% \text{ valorizaciones de sub partidas})$
- $\% \text{ Total avance partida} = (\bar{x} \% \text{ Total sub partidas})$
- $Velocidad = \frac{(\# \text{ avance X \# piso})}{(\# \text{ meses valorizados})}$

May	Jun	Jul	Ago	Set	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
-16	-16	-16	-16	-16	-17	17	17	17	17	17	-17	-17	-18	-18	18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-19	-19
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	

	Un	Total	Val 1	Val 2	Val 3	Val 4	Val 5	Val 6	Val 7	Val 8	Val 9	Val 10	Val 11	Val 12	Val 13	Val 14	Val 15	Val 16	Val 17	Val 18	Val 19	Val 20	Val 21	Val 22	Val 23	Val 24	Val 25	Val 26	Val 27
ESTRUCTURAS																													
VIGAS DE CIMENTACIÓN																													
CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGA DE CIMENTACIÓN $f_c=280$ kg/cm ²	m	489.2									301.1	188.1																	
	3	2																											
			0	0	0	0	0	0	0	0	0.62	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS DE CIMENTACIÓN	m	1,420																											
	2	.24																											
			0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.71	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACERO DE REFUERZO	kg	93,41																											
	9.18									13.62	10.43	28.67	14.65	1.57															
			0	0	0	0	0	0	0.15	0.11	0.31	0.16	0.02	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0

Tabla 12: Cálculo de porcentajes por avance de valorizaciones - Contractual

De los resultados podemos obtener el porcentaje de avance de las siguientes subpartidas:

- Concreto premezclado en viga de cimentación $f_c=280$ kg/cm²: avance de 100%
- Encofrado y desencofrado en vigas de cimentación: avance de 100%
- Acero de refuerzo: avance de 88%
- Lo que corresponde un avance total del 96%
- Finalmente, con el cálculo de velocidad de la partida obtenemos. Donde se considera trabajo en 1 piso en 7 meses de valorización

$$\blacksquare \frac{(0.96 \times 1)}{(7)} = 0.137$$

Partida / Sub partida	# Avance	# Velocidad partida
Viga de cimentación	0.96	0.137
Concreto premezclado en viga de cimentación f'c=280 kg/cm2	1.00	
Encofrado y desencofrado en vigas de cimentación	1.00	
Acero de refuerzo	0.88	

Tabla 13: Cálculo de velocidad de partida viga de cimentación - Contractual

Calculo de velocidad por partida - contractual: (Anexo 4)

A continuación, se ejemplificará el análisis de una partida analizada para el modelo adaptado de valorizaciones:

1. Se ha reconocido la partida de vigas de cimentación con sus sub partidas concreto premezclado en viga de cimentación f'c=280 kg/cm2, encofrado y desencofrado en vigas de cimentación y acero de refuerzo.
2. Se han separado en las columnas el número total de valorizaciones mes a mes siendo reconocidas tanto en partidas como en sub partidas.
3. Se ha colocado el porcentaje de avance del mes valorizado de acuerdo con el porcentaje registrado aprobado por la supervisión del proyecto.

4. Para el caso de la partida de viga de cimentación se observa que se inicia a valorizar desde la valorización numero 7 hasta la valorización número 11 (consecutivamente) y posteriormente en la valorización 16 y 21 (puntualmente).

5. Luego de reconocidos el número de valorizaciones se calcula el porcentaje de avance global, así como la velocidad obtenida con las siguientes formulas:

- % valorizaciones de sub partida = (metrado avance mes) / (metrado total de sub partida)
- % Total avance sub partidas = (Σ % valorizaciones de sub partidas)
- % Total avance partida = (\bar{x} % Total sub partidas)
- $Velocidad = \frac{(\# \text{ avance X } \# \text{ piso})}{(\# \text{ meses valorizados})}$

Metrage	Unidad	Total	Val 1	Val 2	Val 3	Val 4	Val 5	Val 6	Val 7	Val 8	Val 9	Val 10	Val 11	Val 12	Val 13	Val 14	Val 15	Val 16	Val 17	Val 18	Val 19	Val 20	Val 21	Val 22
VIGAS DE CIMENTACIÓN																								
CONCRETO PRE MEZCLADO EN VIGAS DE CIMENTACIÓN Fc=280 Kg/cm2	m3	1 648.55			159.45		147.27	219.66						96.57				25.60						
			0.00	0.00	0.25	0.00	0.23	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS DE CIMENTACIÓN	m2	1 1,637.45					629.12	166.33					308.52	331.72				201.76						
			0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.20	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 14: Cálculo de porcentajes por avance de valorizaciones - Adicional

De los resultados podemos obtener el #avance de las siguientes sub partidas:

- Concreto premezclado en viga de cimentación $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$: avance de 1%
- Encofrado y desencofrado en vigas de cimentación: avance de 1%
- Lo que corresponde un avance total del 1%
- Finalmente, con el cálculo de velocidad de la partida obtenemos. Donde se considera trabajo en 1 piso en 6 meses de valorización

$$\blacksquare \frac{(1 \times 1)}{(6)} = 0.17$$

Partida / Sub partida	# Avance	# Velocidad partida
	1	0.17
Concreto premezclado en viga de cimentación $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$	1.00	
Encofrado y desencofrado en vigas de cimentación	1.00	

Tabla 15: Cálculo de velocidad de partida viga de cimentación - Adicional

A continuación se presenta el diagrama de líneas de balance contractual donde se observa en el eje de las ordenadas el número de pisos trabajados de acuerdo a su porcentaje calculado y en el eje de las abscisas el tiempo de trabajo en meses que duró la actividad considerada y con se digo líneas más arriba se da continuidad al primos mes valorización (no se consideran saltos entre valorización y valorización) Además, las líneas fueron creadas por un gráfico de dispersión para poder reconocer los ejes XY en EXCEL. Se indica el primer y último mes de trabajo para los pisos avanzado y se traza la línea correspondiente.

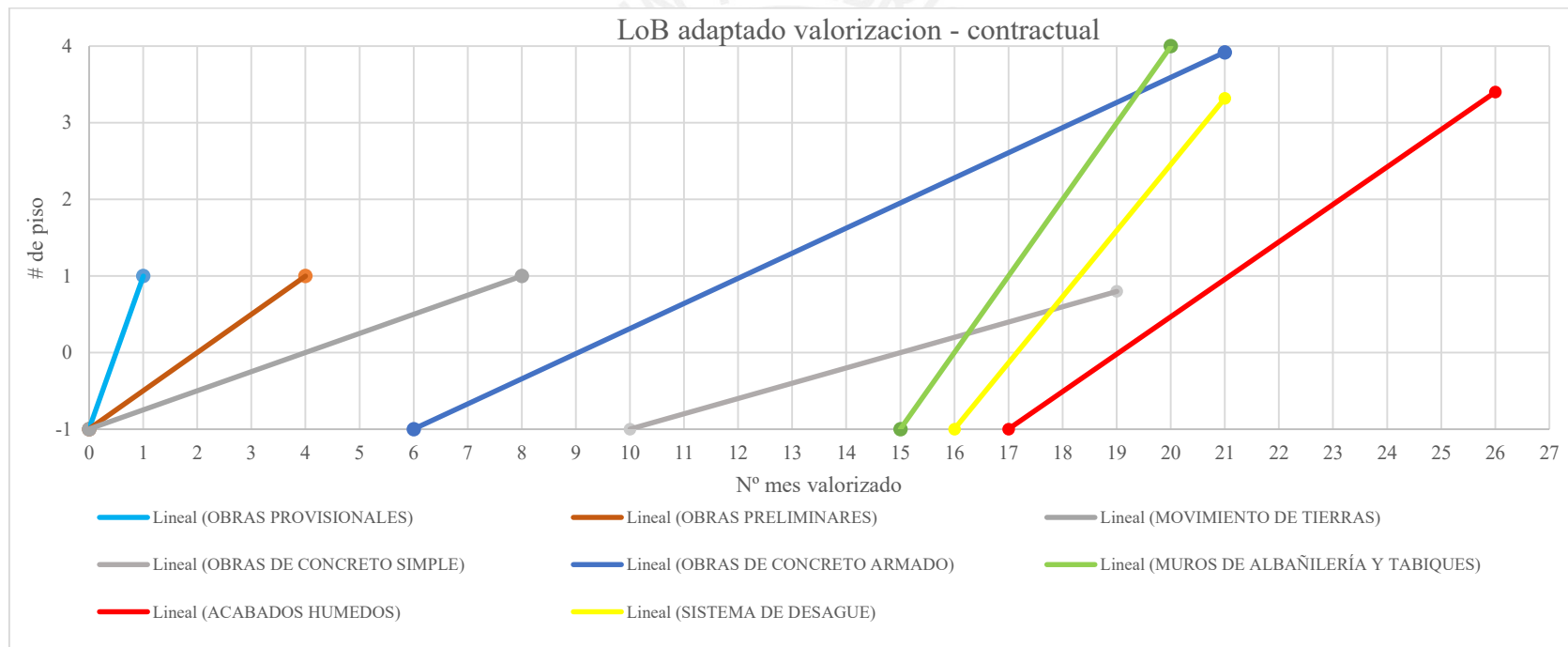


Diagrama 3: Gráfica de líneas de balance adaptado de valorizaciones – contractual

A continuación se presenta el diagrama de líneas de balance adicional donde se observa en el eje de las ordenadas el número de pisos trabajados de acuerdo a su porcentaje calculado y en el eje de las abscisas el tiempo de trabajo en meses que duró la actividad considerada y con se digo líneas más arriba se da continuidad al primes mes valorización (no se consideran saltos entre valorización y valorización) Además, las líneas fueron creadas por un gráfico de dispersión para poder reconocer los ejes XY en EXCEL. Se indica el primer y último mes de trabajo para los pisos avanzado y se traza la línea correspondiente.

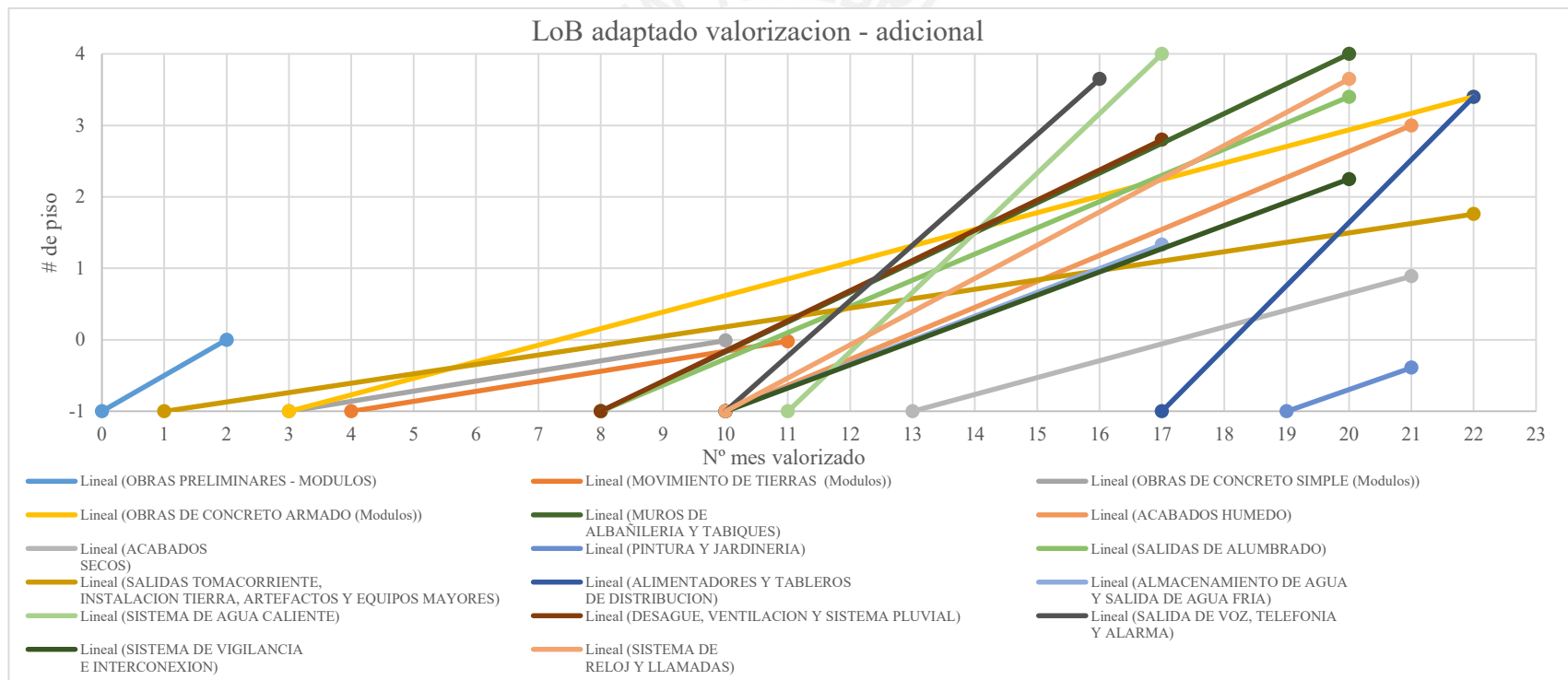


Diagrama 4: Grafica de líneas de balance adaptado de valorizaciones - adicional

Al igual que en el modelo 1, para este modelo 2 se puede observar que los gráficos de líneas de balance no se observa un orden de las partidas y tampoco una correspondencia entre las mismas. Adicionalmente se puede notar, sobre todo, en el diagrama adicional, una concentración de partidas iniciadas en un mismo mes que genera una saturación de trabajo que visualmente se observa. Respecto al ritmo de trabajo de las partidas se observa que no se marca una pauta de tendencia al ser paralelas entre partida y partidas, además se observa que se acumulan partidas en determinado tiempo mientras que en otro las partidas mantienen un tiempo holgado.

4.2.3. Modelo 3 o modelo propuesto (Anexo 5)

- A. Identificar tipo de cronograma, número de edificios, número de pisos por edificio, número de sectores por piso. Adicionalmente se han reconocido los metrados con los que el contratista elaboro su propuesta.
- B. A partir del cronograma general, seleccionar las partidas de principales de control, las cuales deben ser especialmente referentes. Para esta tesis y para una comparación efectiva de las velocidades, en este modelo se consideró las partidas primarias considerando las mismas actividades consideradas en el diagrama Gantt de trabajo de la contratista tanto en el contractual como en el adicional.
- C. Se propone una sectorización referenciado en el cuadro de balance tanto de acero en acero, concreto y encofrado por cada sector en verticales y horizontales, donde se puede observar la equivalencia en los metrados a fin de obtener la mejor propuesta de sectorización. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que como se tienen sectores con mayor número de pisos por lo que lo sectores en la altura se irán reduciendo.

- D. Ya definidas las actividades, se trabaja con las fechas y se selecciona las fechas de inicio y fin de cada una. Adicionalmente, antes de realizar este paso se deben calcular los tiempos unitarios de cada partida referente seleccionada para esta planificación del proyecto; para ello, se tiene los rendimientos extraídos de los análisis de precios unitarios de cada una de las partidas.
- E. Luego del análisis con los rendimientos se plantea un trabajo por sectorización para lo que se planteará un tren de actividades.
- F. Las unidades utilizadas son: en las abscisas están por semanas, o pueden estar por días, y en las ordenadas, por pisos o sectores. De esta manera, se obtiene velocidades con unidades pisos/semanas o pisos/días, etc.
- G. Para dibujar las Líneas de Balance: se inserta las líneas de acuerdo a la semana (o día) y piso adecuado. Para esto, se aplica el tipo de gráfico de Dispersión XY (lineal) el cual permite seleccionar que corresponde al eje X y que corresponde al eje Y.
- H. Para el cálculo de la velocidad de cada actividad, se ejecuta la fórmula siguiente:

$$Velocidad = \frac{\text{Numero de pisos}}{\text{Mes (piso n)} - \text{Mes(piso 1)} + 1}$$

Ecuación 8: Velocidad modelo propuesto

Calculo de velocidad por partida - contractual: (Anexo 5)

- A continuación, se muestra la sectorización planteada

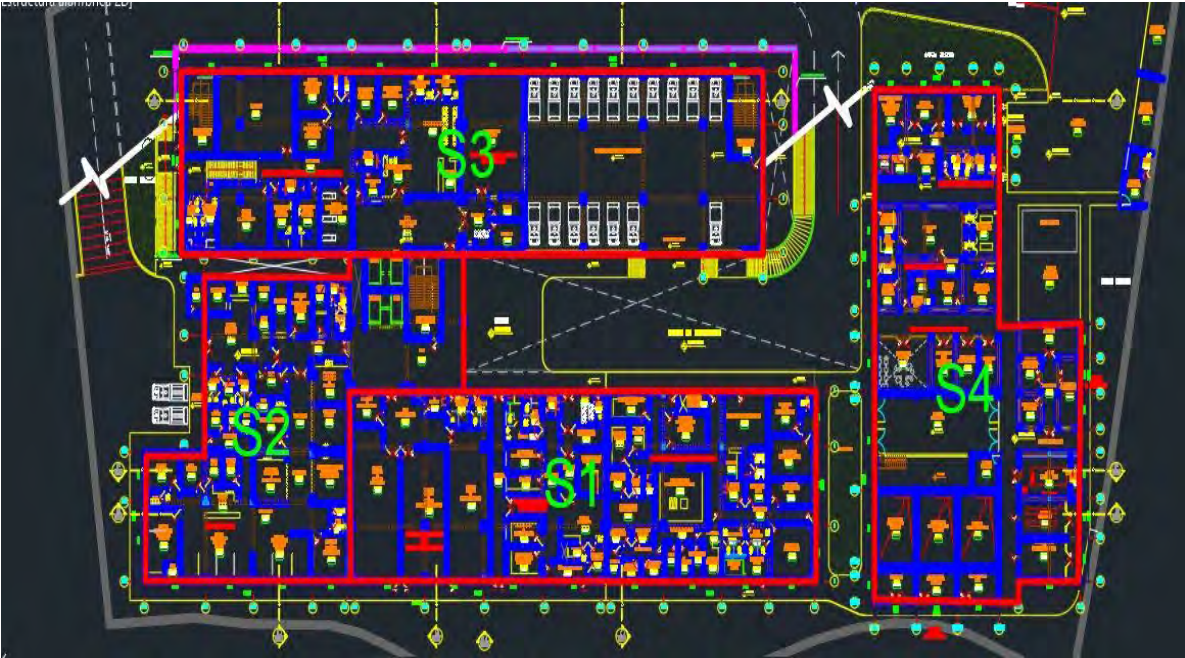


Ilustración 16: Sectorización planteada para la planificación del proyecto

- Cuadro balance de metrados por sectorización en horizontales y verticales de concreto, encofrado y acero.

	Verticales x sector				Horizontales x sector			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Concreto f'c=210 m³	95.15	163.24	182.01	78.33	162.40	259.09	279.08	64.65
Encofrado m²	717.71	11,791.45	12,356.77	2,136.05	1,275.31	2,062.34	2,238.84	375.15
Acero kg	8,053.33	12,032.11	13,431.76	2,725.74	16,725.88	29,317.45	32,128.63	6,877.45

Tabla 16: Balanceo de partidas de concreto armado de los sectores definidos

Notar que el sector S1 y S4 tienen menor metrado; ya que, solo cuenta con 2 pisos más un sótano, mientras que el sector S2 se carga regularmente por la escalera principal y S3 cuenta con 4 pisos más un sótano.

- Se presenta cuadro de análisis de rendimientos, número de cuadrillas por sector

		Unidad	Metrado por piso típico	Rendimiento	Cuadrilla	Tiempo de trabajo	Buffer de tiempo	Tiempo x partida
MOVIMIENTO DE TIERRAS	MOVIMIENTO DE TIERRAS						5	50.5
	Limpieza del terreno h=0.50m, c/equipo y eliminación	m3	5,958.09	400.0	2.0	7.4		30.0
	Excavación masiva c/cargador frontal	m3	9,029.19	200.0	2.0	22.6		
	Excavación de zanjas para cimientos	m3	652.54	3.5	10.0	18.6		
	Acarreo de material procedente de excavación	m3	3,211.63	100.0	3.0	10.7		
	RELLENOS							15.5
	Relleno compactado con material propio en capas de 0.20m c/equipo	m3	3,712.77	60.0	4.0	15.5		
	Relleno compactado con afirmado en capas de 0.10m c/ equipo	m3	263.47	30.0	3.0	2.9		
	Relleno compactado con arenilla en capas de 0.10m c/ equipo	m3	200.81	30.0	4.0	1.7		
	NIVELACION Y APISONADO INTERIOR							13.5
	Nivelación interior y apisonado	m2	2,159.69	80.0	2.0	13.5		
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE							41.0
	Eliminación de material excedente (con 20% de esponjamiento)	m3	8,609.65	35.0	6.0	41.0		

Tabla 17: Cálculo de tiempos por partida a partir del rendimiento y número de cuadrillas

El análisis refiere a la partida de movimiento de tierras que incluye el análisis de las sub partidas de rellenos, nivelación, apisonado interior y eliminación de material excedente. Con los metrados, rendimiento y numero de cuadrillas se pueda calcular el tiempo de trabajo de la partida movimiento de tierras entre las sumas de las sub partidas.

A continuación, se presenta el diagrama de líneas de balance contractual donde se observa en el eje de las ordenadas el número de pisos trabajados de acuerdo con el nivel de piso de trabajo y en el eje de las abscisas el tiempo de trabajo en meses que duró la actividad considerada calculada. Se les da consecuencia a las partidas al momento de graficar las líneas de balance buscando evita los cruces de partidas, así como los tiempos muertos entre partida y partida. Se observa que las líneas evitan crucen entre las partidas, así como se evita los tiempos muertos entre partida y partida.

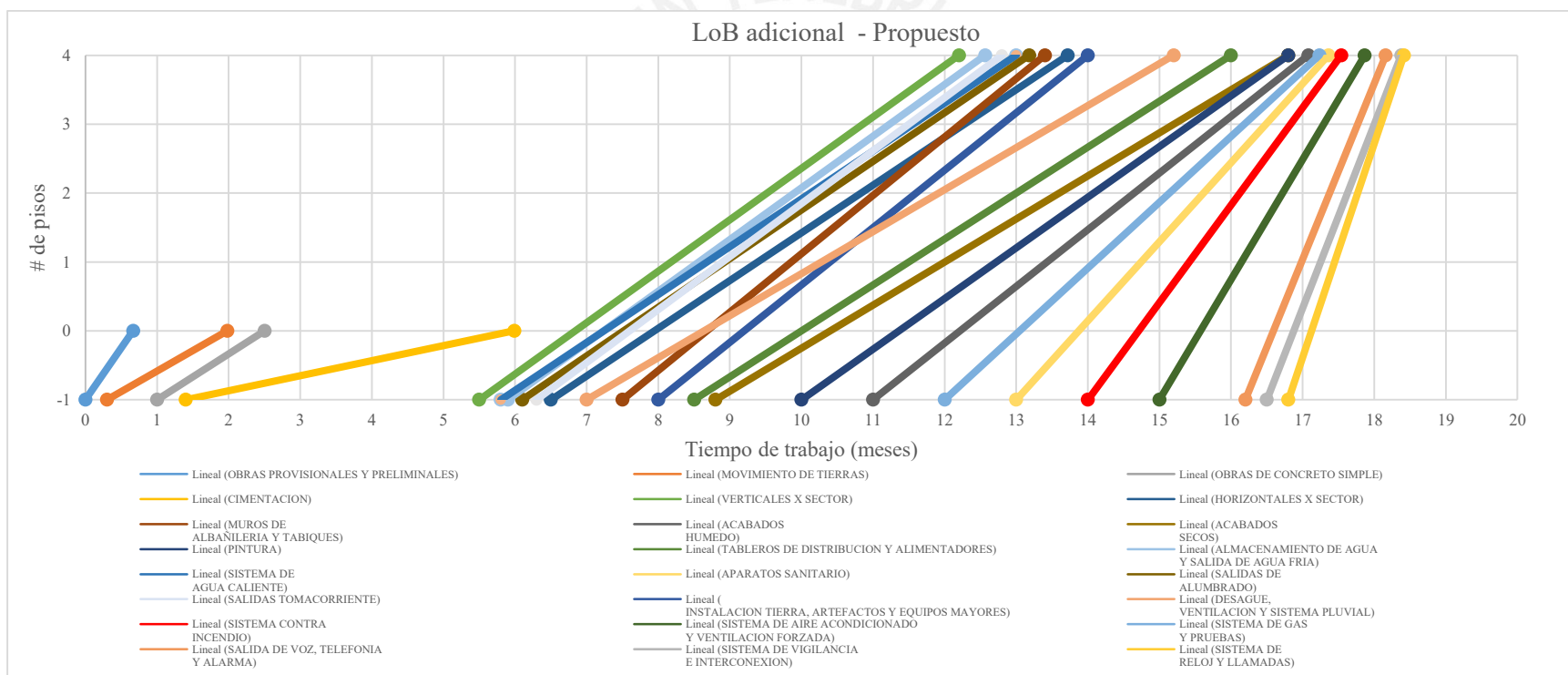


Diagrama 5: Grafica de lineas de balance propuesto

5. CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados cualitativos:

5.1.1. Modelos adaptados de Gantt:

- Para el análisis de la adaptación del cronograma Gantt se consideró las mismas partidas de primer nivel consideradas por el contratista en su cronograma Gantt con el objetivo de poder obtener una similitud y se pueda buscar una comparación entre ambos cronogramas.

- Cuando se graficaron las líneas de balance para este modelo previo Gantt contractual se pudo observar que estas mismas líneas si mantienen un relativo orden mas no reflejaban una coherencia en la programación ya que, por ejemplo, hay obras de concreto simple o movimiento de tierras que se anteponen a las de concreto armado en más de la mitad del tiempo; también, se observa que la partida de muros de albañilería e instalación de desagüe poseen una holgura innecesarias con la partida anterior y la subsecuente, por lo tanto, se puede dice que hay exceso de recursos en mano de obra no aprovechado.

- Cuando se graficaron las líneas de balance para este modelo previo Gantt adicional se pudo observar que estas mismas líneas también mantienen un relativo orden mas no reflejaban una

coherencia en la programación ya que, por ejemplo, se puede notar que hay 3 bloques de trabajo en el cronograma, un inicial hasta las partidas de concreto armado, uno al medio hasta las partida de instalaciones y acabados y una final de hasta las partida de comunicaciones; por lo que se puede decir que hay frentes de trabajo no aprovechados evidenciados por la holgura que hay entre los 3 grupos de partidas, así también en el grupo del medio se observa que hay un concentración e interferencia en las partidas de instalación y acabado por lo que no se nota que hubo la posibilidad de redistribuir la carga concentrada de trabajo; por tanto, no solo hay una mano de obra desaprovechado sino que en la concentración de partidas también hay una sobre exigencia o carga elevada de trabajo que pudo ser redistribuida.

- La grafica de líneas de balance hace visible las observaciones de holguras y carga concentrada de trabajo marcado una ventaja con el cronograma Gantt que no permite observar esta ventaja desde las fases iniciales del proyecto.

5.1.2. Modelos adaptados de valorizaciones:

- Para el modelo de valorizaciones se consideró el porcentaje de avance de todas las partidas y se partió con la premisa de que la valorización debe estar en al mismo ritmo de trabajo con el cronograma planteado inicialmente, es decir, que modelo adaptado de Gantt; sin embargo, se observa que en la mayoría de las partidas consideradas no se valorizaron como se proyectó y, mucho menos, se llevó el ritmo de trabajo planificado.

- Cuando se graficaron las líneas de balance de la adaptación por valorizaciones contractual se observan partidas como la de concreto armado, más representativo, que pudo mantener un ritmo similar al planificado; sin embargo, dicho ritmo es mucho menor al planificado

como se puede notar en su disminución de velocidad por la pendiente generada. En la contraparte notemos que la partida de muros de albañilería llevo un ritmo acelerado a lo planificado como se nota en su aumento de pendiente, finalmente, las partidas como movimiento de tierras o concreto simple no fueron desarrolladas en el tiempo estimado ni con el ritmo de trabajo definido además del exceso de holgura una a una.

- Cuando se graficaron las líneas de balance de la adaptación por valorizaciones adicional se puede notar que hay un exceso de concentración de trabajo de partidas y, en consecuencia, de recursos. Ahora es necesario precisar que, si bien, el grafico propuesto de líneas de balance Gantt adicional muestra un exceso de holgura y leve concentración de líneas en el bloque central, se puede notar que en su adaptación por valorización adicional solo se observa en solo bloque de trabajo concentrado en la parte central y no destaca ninguna partida que siga un ritmo al planificado sumado a la grave interferencia de partidas de obra colmadas en el mismo margen de tiempo con fechas de inicio y fin, claramente, no definida, por lo que se puede decir que la gráfica por valorizaciones planteada no se asemeja a la gráfica propuesta Gant adicional planteada inicialmente.

5.1.3. Modelo propuesto

- En el modelo propuesto se observa que se han agrupado partidas con metrados acumulados que poseen características similares de trabajo en todas las especialidades. Con ello se puede observar una “limpieza visual” en el diagrama planteado sin ausentar un trabajo referente en la planificación de obra.

- Como se observa en el grafico construido “la limpieza visual grafica” significa planificar el proyecto con líneas de balance paralelas y consecuentes de actividades sin espacios “muertos” permite facilitar la observación y el análisis del cronograma maestro durante del desarrollo de obra.

- Se corrigió la concentración de partidas generadas por la incorrecta planificación; además, se eliminó la mala correspondencia de actividades propuestas que generaba tiempos de trabajo no aprovechados en el proyecto; por último, se buscó mantener un paralelismo en las líneas de trabajo dibujadas, que significa que las actividades se van trabajando a la par y no van a presentarse adelantamientos o atrasos innecesarios o que no sean mapeados lo que puede ayudar un correcto control durante la construcción del proyecto desde el cronograma maestro.

5.2. Resultados cuantitativos:

5.2.1. Velocidad 1 vs Velocidad 2:

En el siguiente cuadro se compara la velocidad calculada de cada modelo y de las partidas trabajadas. En algunos casos, como en el modelo valorizado, existen partidas que, hasta el final del proyecto, no fueron valorizadas por lo que no se pudo calcular la velocidad y por tanto tampoco el porcentaje de variación.

	Velocidad 1 - Modelo adaptado Gantt	Velocidad 2 - Modelo Valorización	% de variación
Partidas			
Obras provisionales	0.10	0.20	200%
Obras preliminares	0.33	0.20	60%

Movimiento de tierras	0.13	0.11	88%
Obras de concreto simple	0.13	0.09	71%
Obras de concreto armado	0.56	0.13	23%
Muros de albañilería y tabiques	0.56	0.92	166%
Revoques, enlucidos y molduras	0.45	0.55	121%
Cielorrasos	0.50	1.66	332%
Pisos y pavimentos	0.56	-	-
Contra zócalos	0.50	-	-
Zócalos	0.50	-	-
Revestimientos	1.00	-	-
Cubiertas	1.00	-	-
Carpintería metálica y herrería	0.63	-	-
Carpintería de aluminio	1.00	-	-
Cerrajería	1.00	-	-
Varios	1.25	-	-
Señalización de normatividad clínica	2.50	-	-
Extintores	1.00	-	-
Aparatos sanitarios y accesorios	1.25	-	-
Sistema de agua contra incendio	1.25	-	-
Instalaciones especiales	1.00	-	-
Sistema de desagüe	0.71	0.83	116%
Salidas para comunicaciones y señales	1.00	-	-
Pruebas eléctricas	1.25	-	-

Tabla 18: Comparación de velocidades contractual modelo 1 y modelo 2.

- En para la tabla N° 18 obtenida se compara el modelo 1 con el modelo 2 del cronograma contractual, en este análisis partimos del modelo 1 – adaptado GANTT considerando el 100% del total del trabajo realizado y en donde se va a calcular el porcentaje de incremento respecto al modelo 2 real valorizado.

- En la tabla N° 19, a continuación, se obtuvieron parámetros estadísticos de las partidas consideradas en el análisis. Estos parámetros estadísticos permiten analizar la media, desviación estándar, máximo, mínimo de planteamiento de velocidades del modelo 1 respecto del modelo 2. Donde puntualmente la media será el indicador de pendiente o ritmo de trabajo, la desviación será el indicador de distribución de variación de datos así como la presentación de máximo y mínimo.

Resumen	
Media	131%
Desviación	0.928
Máximo	332%
Mínimo	23%

Tabla 19: Tabla resumen comparación contractual modelo 1 y 2

- La media obtenida está en 131% por encima del 100% proyectado, lo que implica que se valorización más rápido de lo que se trabajó; sin embargo, este resultado solo es para las partidas que fueron trabajadas; ya que, si consideramos a las partidas que no fueron trabajadas el porcentaje de media sería menor. Se puede decir que las partidas valorizadas se encuentran en un rango de valorización media, pero no esperado ni óptimo, ya que es mejor mantener un porcentaje cercano de trabajo entre lo valorizado y planificado. Notar además que la desviación estándar indica que hay un alto índice de aleatoriedad de datos en las partidas por

lo que podemos decir que hay un alto número de partidas que fueron planificadas a un ritmo de trabajo pero que en un alto porcentaje no fueron completadas como se puede notar en los picos de máximo y mínimo.

Velocidad 1 vs velocidad 2 - adicional				
		Velocidad 1 - Modelo adaptado Gantt	Velocidad 2 - Modelo Valorización	% de variación
Estructuras				
Módulos				
	Obras preliminares	1.00	0.50	50%
	Movimiento de tierras (módulos)	0.17	0.37	222%
	Obras de concreto simple (módulos)	0.17	0.61	366%
	Obras de concreto armado (módulos)	0.56	1.37	247%
Obras exteriores				
	Movimiento de tierras (Obra ex)	0.17	0.26	156%
	Obras de concreto simple (Obra ex)	0.25	0.25	100%
	Obras de concreto armado (Obra ex)	0.25	0.16	64%
	Pavimentos	0.25	0.00	0%
Cerco perimétrico				
	Movimiento de tierras (Cerco Per)	0.50	0.23	46%
	Obras de concreto simple (Cerco Per)	0.50	0.21	42%
	Obras de concreto armado (Cerco Per)	0.20	0.24	120%
Muros de contención				
	Movimiento de tierras (Muros con)	0.20	0.25	125%
	Obras de concreto armado (Muros con)	0.17	0.20	120%
Arquitectura				
Módulos				

	Muros de albañilería y tabiques	0.56	0.38	68%
	Revoques, enlucidos y molduras	0.63	0.30	48%
	Cielorrasos	1.00	1.93	193%
	Pisos y pavimentos	0.83	0.36	43%
	Contra zócalos	0.83	0.00	0%
	Zócalos	1.25	0.43	34%
	Revestimientos	1.25	-	-
	Cubiertas y coberturas	1.25	0.25	20%
	Pintura	0.83	0.23	28%
Instalaciones sanitarias				-
	Aparatos sanitarios y accesorios	0.83	-	-
	Salida de agua fría	0.50	1.02	204%
	Almacenamiento de agua	1.00	0.30	30%
	Sistema de agua caliente	1.25	0.56	45%
	Sistema contra incendio	1.00	-	-
	Sistema de drenaje pluvial	0.63	0.86	138%
	Desagüe y ventilación	0.63	0.63	101%
Instalaciones eléctricas				-
	Salida alumbrado de techo	0.63	1.31	210%
	Salida alumbrado en pared	1.67	0.50	30%
	Salida luz de cabecera	1.67	0.85	51%
	Salida luz de emergencia	1.67	0.45	27%
	Salida para interruptores	1.25	0.30	24%
	Artefactos de alumbrado	1.00	0.00	0%
	Salida para tomacorrientes	0.83	0.28	34%
	Tableros de distribución	1.67	0.00	0%
	Alimentadores	0.71	0.08	11%
	Instalación de puesta a tierra	1.67	1.25	75%
	Salida para poste de concreto	2.50	-	-

	Salidas de fuerza	1.25	0.53	42%
	Equipos mayores	0.71	-	-
Instalaciones mecánicas				-
	Aire acondicionado	1.67	-	-
	Sistema de ventilación forzada	1.67	-	-
	Sistema de gas	0.36	-	-
	Pruebas mecánicas	5.00	-	-
Instalaciones de comunicaciones				-
	Salida de voz data y telefonía	1.25	0.73	58%
	Salida para alarma contra incendio	1.67	1.04	62%
	Sistema de vigilancia	2.50	0.95	38%
	Interconexión de comunicaciones	1.67	0.83	50%
	Sistema de reloj	2.50	1.00	40%
	Sistema de llamadas de enfermeras	1.67	0.92	55%

Tabla 20: Comparación de velocidades adicional modelo 1 y modelo 2.

- En la tabla N° 20 obtenida se compara el modelo 1 con el modelo 2 del cronograma adicional, en este análisis partimos de un modelo 1 considerando el 100% de base de trabajo de velocidad y en donde se va a calcular el porcentaje de incremento respecto al modelo 2 de cada partida como fue valorizada.

- Como se puede observar en la tabla N°21, en este caso la media valorizada se encuentra por debajo del 100% planificado de trabajo; lo que quiere decir, que la velocidad de modelo valorizado respecto al modelo Gantt fue menor o más lento de lo planificado. Adicionalmente existen partidas consideras que están en los extremos de sus velocidades del máximo y del

mínimo señaladas en la tabla resumen; por lo que estas partidas deben pueden ser interpretadas como actividades que fueron mal planificadas en la programación Gantt ya que fueron trabajadas en un periodo muy rápido y muy lento.

- El indicador de la desviación nos muestra que muestra bajo en comparación al anterior cálculo que lo demuestra que hay un menor flujo de variabilidad de datos.

Resumen	
Media	88%
Desviación	0.777
Máximo	366%
Mínimo	11%

Tabla 21: Tabla resumen comparación adicional modelo 1 y 2

5.2.2. Velocidad 1 vs Velocidad 3:

En el siguiente cuadro se compara la velocidad calculada de cada modelo de las partidas consideradas para el análisis. Dentro del modelo propuesto hay partidas que no han sido consideradas en el trabajo; ya que, no influyen en la ruta crítica o no se consideran esenciales en la planificación del proyecto.

Partidas	Velocidad 1 - modelo adaptado valorizaciones	Velocidad 3 - modelo metrados iniciales	% variación
Obras provisionales	0.10	1.01	464%
Obras preliminares	0.33		
Movimiento de tierras	0.13	0.58	466%
Obras de concreto simple	0.13	0.65	521%
Obras de concreto armado	0.56	0.78	141%
Muros de albañilería y tabiques	0.56	0.93	167%

Revoques, enlucidos y molduras	0.45	0.82	171%
Cielorrasos	0.50		
Pisos y pavimentos	0.56	0.62	88%
Contrazocalos	0.50		
Zócalos	0.50		
Revestimientos	1.00		
Cubiertas	1.00		
Carpintería metálica y herrería	0.63	-	
Carpintería de aluminio	1.00	-	
Cerrajería	1.00	-	
Varios	1.25	-	
Señalización de normatividad clínica	2.50	-	
Extintores	1.00	-	
Aparatos sanitarios y accesorios	1.25	1.47	118%
Sistema de agua contra incendio	1.25	1.63	130%
Instalaciones especiales	1.00	0.83	83%
Sistema de desagüe	0.71	0.61	85%
Salidas para comunicaciones y señales	1.00	2.51	251%
Pruebas eléctricas	1.25	-	-
			224%

Tabla 22: Comparación de velocidades contractual modelo 1 y modelo 3.

- Para la tabla N° 22 se compara el modelo 1 con el modelo 3 del cronograma contractual, en este análisis partimos de un modelo 1 considerando el 100% de base de trabajo de velocidad y en donde se va a calcular el porcentaje de incremento respecto al modelo 3 que fue propuesto como nuevo cronograma.

- De acuerdo con los resultados de la tabla N°23 se observa que la media calculada se encuentra en 224% y con picos de máximo y mínimo muy distantes de la media. Si se analiza enteramente la velocidad media se puede decir que el proyecto propuesto puede avanzar de manera más rápida sobre el planificado por el contratista en primera instancia con el cronograma GANTT.

- Se observa que la media resultante se puede incrementar por 2.24 veces sobre el modelo planteado GANTT con la propuesta de trabajo con líneas de balance para el que fue necesario consideró el criterio del paralelismo de las de las líneas y divisiones por sectores en todos los pisos. Notar que la desviación estándar se ha aumentado en casi el doble en comparación de los modelos adaptados de Gantt lo que indica que tenemos una mayor variabilidad en los datos como lo demuestra los máximo y mínimos indicados.

Resumen	
Media	224%
Desviación	1.505
Máximo	521%
Mínimo	83%

Tabla 23: Tabla resumen comparación contractual modelo 1 y 3

Velocidad 1 vs velocidad 3 - adicional				
		Velocidad 1 - modelo adaptado valorizaciones	Velocidad 3 - modelo metrados iniciales	% variación
Estructuras				
Módulos				
	Obras preliminares	1.00	1.43	143%
	Movimiento de tierras (módulos)	0.17	0.58	350%
	Obras de concreto simple (módulos)	0.17	0.65	390%
	Obras de concreto armado (módulos)	0.56	0.78	141%
Obras exteriores				
	Movimiento de tierras (obra ex)	0.17	-	-
	Obras de concreto simple (obra ex)	0.25	-	-
	Obras de concreto armado (obra ex)	0.25	-	-
	Pavimentos	0.25	-	-
Cerco perimétrico				
	Movimiento de tierras (cerco per)	0.50	-	-
	Obras de concreto simple (cerco per)	0.50	-	-
	Obras de concreto armado (cerco per)	0.20	-	-
Muros de contención				
	Movimiento de tierras (muros con)	0.20	-	-
	Obras de concreto armado (muros con)	0.17	-	-

Arquitectura				
Módulos				
	Muros de albañilería y tabiques	0.56	0.9202	166%
	Revoques, enlucidos y molduras	0.63	0.8179	101%
	Cielorrasos	1.00		
	Pisos y pavimentos	0.83	0.6224	57%
	Contrazocalos	0.83		
	Zócalos	1.25		
	Revestimientos	1.25		
	Cubiertas y coberturas	1.25		
	Pintura	0.83	0.89	107%
Instalaciones sanitarias				-
	Aparatos sanitarios y accesorios	0.83	1.47	176%
	Salida de agua fría	0.50	0.75	100%
	Almacenamiento de agua	1.00		
	Sistema de agua caliente	1.25	0.69	55%
	Sistema contra incendio	1.00	1.63	163%
	Sistema de drenaje pluvial	0.63	0.61	97%
	Desagüe y ventilación	0.63		
Instalaciones eléctricas				-
	Salida alumbrado de techo	0.63	0.72	55%
	Salida alumbrado en pared	1.67		
	Salida luz de cabecera	1.67		
	Salida luz de emergencia	1.67		
	Salida para interruptores	1.25		
	Artefactos de alumbrado	1.00		
	Salida para tomacorrientes	0.83	1.24	149%
	Tableros de distribución	1.67	0.66	56%
	Alimentadores	0.71		
	Instalación de puesta a tierra	1.67	4.55	297%
	Salida para poste de concreto	2.50		
	Salidas de fuerza	1.25		
	Equipos mayores	0.71		
Instalaciones mecánicas				-
	Aire acondicionado	1.67	4.55	273%
	Sistema de ventilación forzada	1.67		
	Sistema de gas	0.36	1.81	67%
	Pruebas mecánicas	5.00		
Instalaciones de comunicaciones				-
	Salida de voz data y telefonía	1.25	2.51	172%
	Salida para alarma contra incendio	1.67		

	Sistema de vigilancia	2.50	2.62	126%
	Interconexión de comunicaciones	1.67		
	Sistema de reloj	2.50	3.04	146%
	Sistema de llamadas de enfermeras	1.67		
				154%

Tabla 24: Comparación de velocidades adicional modelo 1 y modelo 3.

- Sobre los resultados obtenidos en las tablas N° 24 y N° 25 mostradas del modelo 1 con el modelo 3 del cronograma adicional, de este análisis partimos de un modelo 1 considerando el 100% de base de trabajo de velocidad y en donde se va a calcular el porcentaje de incremento respecto al modelo 3 que fue propuesto como nuevo cronograma propuesto de trabajo.

- Al igual que el cronograma contractual obtenido en la tabla N° 23, la tabla N° 25, se observa que la nueva media obtenida, en este caso, se multiplica por 1.54 marcando una nueva tendencia de trabajo más veloz. En el resumen consolidado de la tabla N° 25 de cada una de las velocidades obtenidas de las partidas se obtiene un nuevo ritmo de trabajo compensado con el cronograma contractual.

Resumen	
Media	154%
Desviación	1.059
Máximo	390%
Mínimo	55%

Tabla 25: Tabla resumen comparación adicional modelo 1 y 3

- En el cronograma adicional existe un mayor número de partidas que están siendo trabajadas de manera paralela, por lo que puede generar un mayor trabajo durante la planificación y control del cronograma; sin embargo, se refleja en el resumen de programación de

manteniendo un ritmo de trabajo adecuado y recomendado por las líneas de balance se puede obtener una mejora en la velocidad resultante de las partidas. Si bien, cada contratista de construcción, en base a su experiencia de trabajo, pueden organizar una planificación con tiempos muchos mayores y menor innecesariamente considerados que implican aumento de tiempos globales en el proyecto.

5.2.3. Velocidad 2 vs Velocidad 3:

En el siguiente cuadro se compara la velocidad calculada de cada modelo de las partidas consideradas para el análisis. Dentro del modelo propuesto hay partidas que no han sido consideradas en el trabajo; ya que, no influyen en la ruta crítica o no se consideran esenciales en la planificación del proyecto.

	Velocidad 2 - modelo valorización	Velocidad 3 - modelo metrados iniciales	% variación
Partidas			
Obras provisionales	0.20	1.01	503%
Obras preliminares	0.20		
Movimiento de tierras	0.11	0.58	530%
Obras de concreto simple	0.09	0.65	731%
Obras de concreto armado	0.13	0.78	625%
Muros de albañilería y tabiques	0.92	0.93	101%
Revoques, enlucidos y molduras	0.55	0.82	74%
Cielorrasos	1.66		
Pisos y pavimentos	-	0.62	-
Contrazocalos	-		
Zócalos	-		
Revestimientos	-		
Cubiertas	-		
Carpintería metálica y herrería	-	-	
Carpintería de aluminio	-	-	
Cerrajería	-	-	

Varios	-	-	
Señalización de normatividad clínica	-	-	
Extintores	-	-	
Aparatos sanitarios y accesorios	-	1.47	-
Sistema de agua contra incendio	-	1.63	-
Instalaciones especiales	-	0.83	-
Sistema de desagüe	0.83	0.61	73%
Salidas para comunicaciones y señales	-	2.51	-
Pruebas eléctricas	-	-	-
			377%

Tabla 26: Comparación de velocidades contractual modelo 2 y modelo 3

- Para la tabla N° 26 obtenida se compara el modelo 2 con el modelo 3 del cronograma contractual, en este análisis partimos de un modelo 2 considerando solo las partidas valorizadas dentro del proyecto y en donde se va a calcular el porcentaje de variación respecto al modelo 3 que fue propuesto como nuevo cronograma propuesto.

Resumen	
Media	377%
Desviación	2.806
Máximo	731%
Mínimo	73%

Tabla 27: Tabla resumen comparación contractual modelo 2 y 3

- De acuerdo con los resultados de la tabla N° 27 se observa que la media calculada se encuentra en 337% y con picos de máximo y mínimo muy distantes de la media. Si se analiza enteramente la velocidad media se puede decir que el proyecto propuesto puede avanzar de manera más rápida sobre el cronograma valorizado. Es importante mencionar que el modelo propuesto unifica los metrados de los modelos contractuales y adicionales por lo que es probable que los porcentajes calculados, a diferencia las anteriores tablas, pueda tener menor grado de confiabilidad en el resultado. Notar que la desviación estándar tiene un valor demasiado elevado respecto a los modelos analizados anteriormente lo que demuestra que

muchas de las partidas han sido ajustadas en los ritmos y se observa en el incremento tanto de los máximos y los mínimos.

Velocidad 2 vs velocidad 3 - adicional				
		Velocidad 2 - modelo valorización	Velocidad 3 - modelo metrados iniciales	% variación
Estructuras				
Módulos				
	Obras preliminares	0.50	1.43	286%
	Movimiento de tierras (módulos)	0.37	0.58	157%
	Obras de concreto simple (módulos)	0.61	0.65	107%
	Obras de concreto armado (módulos)	1.37	0.78	57%
Obras exteriores				
	Movimiento de tierras (obra ex)	0.26	-	-
	Obras de concreto simple (obra ex)	0.25	-	-
	Obras de concreto armado (obra ex)	0.16	-	-
	Pavimentos	0.00	-	-
Cerco perimétrico				
	Movimiento de tierras (cerco per)	0.23	-	-
	Obras de concreto simple (cerco per)	0.21	-	-
	Obras de concreto armado (cerco per)	0.24	-	-
Muros de contención				
	Movimiento de tierras (muros con)	0.25	-	-
	Obras de concreto armado (muros con)	0.20	-	-
Arquitectura				
Módulos				
	Muros de albañilería y tabiques	0.38	-	-
	Revoques, enlucidos y molduras	0.30	0.9202	307%
	Cielorrasos	1.93	0.8179	71%
	Pisos y pavimentos	0.36		
	Contrazocalos	0.00	0.6224	274%
	Zócalos	0.43		
	Revestimientos	-		
	Cubiertas y coberturas	0.25		
	Pintura	0.23		
Instalaciones sanitarias				
	Aparatos sanitarios y accesorios	0.83	1.47	-
	Salida de agua fría	0.50	0.75	100%
	Almacenamiento de agua	1.00		

	Sistema de agua caliente	1.25	0.69	-
	Sistema contra incendio	1.00	1.63	-
	Sistema de drenaje pluvial	0.63	0.61	97%
	Desagüe y ventilación	0.63		
Instalaciones eléctricas				-
	Salida alumbrado de techo	0.63	0.72	55%
	Salida alumbrado en pared	1.67		
	Salida luz de cabecera	1.67		
	Salida luz de emergencia	1.67		
	Salida para interruptores	1.25		
	Artefactos de alumbrado	1.00		
	Salida para tomacorrientes	0.83	1.24	149%
	Tableros de distribución	1.67	0.66	56%
	Alimentadores	0.71		
	Instalación de puesta a tierra	1.67	4.55	297%
	Salida para poste de concreto	2.50		
	Salidas de fuerza	1.25		
	Equipos mayores	0.71		
Instalaciones mecánicas				-
	Aire acondicionado	1.67	4.55	273%
	Sistema de ventilación forzada	1.67		
	Sistema de gas	0.36	1.81	67%
	Pruebas mecánicas	5.00		
Instalaciones de comunicaciones				-
	Salida de voz data y telefonía	1.25	2.51	172%
	Salida para alarma contra incendio	1.67		
	Sistema de vigilancia	2.50	2.62	126%
	Interconexión de comunicaciones	1.67		
	Sistema de reloj	2.50	3.04	146%
	Sistema de llamadas de enfermeras	1.67		
				155%

Tabla 28: Comparación de velocidades adicional modelo 2 y modelo 3

- Para la tabla N° 28 obtenida se compara el modelo 2 con el modelo 2 del cronograma adicional, en este análisis partimos de un modelo 2 considerando las partidas valorizadas y en donde se va a calcular el porcentaje de incremento respecto al modelo 3 propuesto como nueva planificación para el proyecto.

Media	155%
Desviación	1.019
Máximo	307%
Mínimo	55%

Tabla 29: Tabla resumen comparación adicional modelo 2 y 3

- Al igual que el cronograma contractual obtenido en la tabla N° 28 se observa que la nueva media obtenida, en este caso, se multiplica por 1.55 marcando una nueva tendencia de trabajo más veloz. En el resumen consolidado de la tabla N° 29 de cada una de las velocidades obtenidas de las partidas se obtiene un nuevo ritmo de trabajo compensado con el cronograma contractual.



6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

*** Del análisis de líneas de balance (LoB) en la gestión de proyectos**

- La herramienta de líneas de balance muestra una forma de planificación maestra que añade potencial a un cronograma Gantt.; por ello, es que se puede decir que ambas herramientas son ideales y muy buenas; sin embargo, la de líneas de balance posee unas ventajas en los siguientes aspectos puntuales: en primer lugar; se presenta una localización en la planificación arrojando un producto grafico de localización vs tiempo; en segundo lugar, se conforma la visualización panorámica de todo el proyecto en donde se puede observar y analizar las correspondencias de las partidas con sus ritmos de trabajo; en tercer lugar, se logra una mejora en la toma de decisiones de las gestiones de planificación; ya que, la herramienta ofrece una facilidad de operación para la corrección de errores durante la etapa de ejecución; además, se puede controlar el ritmo de trabajo, así como la correspondencia de partidas durante la ejecución y sus fechas de inicio; en cuarto lugar, dado el contraste generado con los modelos, se puede observar como se ha optimizado el ritmo de todas las partidas consideradas por la contratista, inicialmente, aumentada a un ritmo de más del doble de lo planificado por lo que la herramienta, durante su etapa inicial de planificación, puede

ayudar e mejorar los tiempos correctamente planificados de obra. Finalmente, la gestión del cronograma maestro de líneas de balance se puede alinear con una mejor facilidad al control de tiempo y recursos y, en general, de toda la planificación mensual, semanal y diaria que se realiza durante la construcción de un proyecto.

- Los modelos planteados en el desarrollo de la tesis tuvieron por objetivo buscar la comparación de los mismos de la manera más objetiva posible. El modelo 1 es una adaptación que representa la planificación inicial que hizo el contratista que permite observar netamente las ventajas del cronograma maestro LoB sobre el Gantt, para el modelo 2 se buscó certificar el ritmo de trabajo que se mantuvo a lo largo del proyecto, y en qué porcentaje, con el objetivo de verificar si el cronograma se relacionaba con el planteado en el modelo 1 comparándolo con el cálculo de sus velocidades y para el modelo 3 se buscó plantear un nuevo cronograma que permita facilitar el trabajo de planificación durante el proyecto para que pueda ser comparada con el cronograma Gantt adaptado y valorizado y, como se ha podido observar en los resultados, estos han sido óptimos; ya que, se corrigió el ritmo de trabajo a partir de la corrección de las actividades y se calculó los tiempos individuales de cada partida; con ello, se permitió establecer un paralelismo en las líneas de trabajo que fueron dibujadas y, posteriormente, contrastadas frente al cronograma inicial planteado para ambos cronogramas trabajados, por último, se logra optimizar la velocidad y el ritmo de trabajo en un alto porcentaje; ya que, se eliminaron las actividades que generaban retrasos en las actividades críticas así como la nueva distribución de punto de inicio y fin de trabajo.

- El inicio de todo proyecto puede carecer de mucha información inicial para su elaboración lo que puede generar una mala gestión futura de la planificación; sin embargo,

es necesario utilizar la máxima información inicial y evaluar, bajo criterio, las consideraciones para elaborar la planificación del proyecto. La presión por la presentación de cronogramas y presupuestos, usualmente en proyectos para el Estado, generan que una planificación no se elabore de la mejor manera; ya que, los involucrados necesarios no tienen una debida participación o no se revisa en profundidad las programaciones propuestas por los contratistas y solo se resalta los hitos y plazos a cumplir lo que genera dificultad para una correcta gestión del proyecto que finalmente impacta cuando el proyecto se encuentra en una etapa avanzada. Las pérdidas no solo serán para la empresa constructora, sino que, además, el proyecto como en este caso, el hospital Santa María, que queda en un segundo plano.

*** De la planificación mediante líneas de balance (LoB)**

- El plan maestro con líneas de balance permite ubicar y crear un grafica de localización versus tiempo, el cual permite una visión global del proyecto, donde se identifican los recursos, la secuencia de actividades de trabajo y el ritmo de ejecución de cada una de estas mismas actividades lo que genera que se pueda obtener un mejor control antes y durante la ejecución del proyecto; en otras palabras, los diagramas de líneas de balance permiten tener una trazabilidad de las actividades referenciando la ubicación – tiempo respecto a las demás partidas a realizar de una manera práctica y visualmente fácil de leer.

*** Sobre proponer alternativas de mejora**

- El diagrama Gantt es práctico en su elaboración y seguimiento por partidas horizontales; sin embargo, se concluye que no evidencia el ritmo de trabajo partida a partida

además que no pronostica eventuales problemáticas generales de planificación de obra que pueden ser evidenciadas desde las fases iniciales del proyecto.

- La planificación con líneas de balance presenta un detalle más óptimo visualmente de un plan maestro; ya que, coloca cada actividad a lo largo del proyecto y con una referencia visual de ritmo de trabajo con la pendiente dibujada la cual se desplaza a lo largo de una ubicación y tiempo de ejecución. Durante la gestión del cronograma dichas líneas pueden ser modificadas de manera fácil y rápidamente, además de que considera en el mismo cronograma los recursos asignado en obra en el momento de su ejecución. Además, se puede observar la relación de las actividades, las conexiones entre ellas, los desfases de actividades, el ritmo de trabajado, los tiempos entre actividades o los hitos propios de un plan maestro. Finalmente, se puede observar si existen actividades que puedan estar siendo trabajadas en lugares que no corresponden a la planificación original y ser corregidas en el momento oportuno.

*** Sobre verificar el impacto que produce, en una gestión de proyectos**

- La gestión de proyectos implica tomar decisiones por lo que se puede concluir que se podrá tomar decisiones más rápidas al momento de replantear o solucionar alguna dificultad. La ventaja está en que cada línea tiene la información necesaria como de ritmo de trabajo o los recursos que se han asignado a cada actividad por lo que aumentar la velocidad de una partida retrasada (usual en obra), se puede realizar de la manera más práctica y con suma facilidad, además que con ello se estaría considerando el trabajo de las cuadrillas programas, así como la asignación de recursos a cada una de ellas.

*** Sobre comparar los modelos de planificación propuestos**

- Del análisis cualitativo del modelo 1 contractual y adicional se concluye que los planificadores para este proyecto intentaron realizar una planificación adecuada; sin embargo, no notaron las holguras innecesarias, tiempos muertos, cruce o concentración de partidas y, todo ello, no necesariamente por desconocimiento sino que el cronograma Gantt con el método tradicional no permite distinguir dichos indicadores desde las fases preliminares de la planificación macro de obra. Del modelo 2 contractual y adicional se concluye que la puesta en obra no tiene, principalmente, un adecuado seguimiento del ritmo de trabajo de las partidas, ya que, se evidencia que la concentración de partidas que se da en un margen reducido de tiempo, entendiéndose por la presión de avance y cierre de obra y no con los ritmos planteados inicialmente. Del modelo 3 se concluye que la planificación por localización por medio de las líneas de balance permite notar posibles inconvenientes futuros de la planificación maestra desde la planificación preliminar de obra.

- Del análisis cuantitativo comparando el modelo 1 y 2 contractual - adicional se concluye que el modelo 2 o por valorizaciones contractual muestra un aumento de pendiente sobre el planificado mientras que el adicional muestra una disminución en la pendiente; por lo que, en líneas generales, se observa que el planificador intentó seguir el margen planificado inicialmente respecto al ritmo (se puede confirmar ya que la media no se aleja mucho del 100% planificado) mas no en la distribución de cada actividad, además la desviación y los picos de máximo y mínimo indican que la variación de pendiente de obra una a una fue mínima respecto a las demás comparaciones por lo que se intentó mantener los ritmos de las pendientes en la mayoría de actividades. Del modelo comparado 1 y 3 contractual - adicional

se concluye que con el método 3 o por localización contractual se puede optimizar la pendiente de ritmo de trabajo en un alto porcentaje así, también, con el adicional se muestra un aumento de ritmo de trabajo; sin embargo, se observa que la desviación es más alta respecto a la comparación de los modelos 1 y 2 así como se evidencia en los picos de máximo y mínimo que demuestra que es el modelo 3 buscar reajustar en un alto porcentaje las pendientes de ritmo de trabajo planificada. Del modelo comparado 2 y 3 contractual - adicional se concluye que con el modelo 3 o por localización, las pendientes de ritmo de trabajo, son idealmente muy productivas sobre el modelo 2 o por valorizaciones a la planificación propuesta en un alto porcentaje de variabilidad de las partidas a reajustar como se puede confirmar con los altos picos de máximo y mínimo indicados en el resumen siendo los más altos de todas las comparaciones anteriores.

*** Sobre realizar un análisis del proceso de elaboración y puesta en obra de una planificación con líneas de balance comparado con un cronograma convencional.**

- Durante la puesta en obra ejecución de un proyecto de construcción es rutinario tener que corregir los tiempos de ejecución planteados inicialmente, por lo que, el cronograma de líneas de balance muestra una facilidad para poder reajustar el trabajo en su conjunto de acuerdo a las consideraciones de cada planificador hechas con sus alcances. Es necesario puntualizar que, en el contexto peruano, muchas de los proyecto tienen el seguimiento basado en el cronograma maestro como un cronograma rutinario y no como uno macro, si bien, como se ha comentado, es una mala práctica, el cronograma de líneas de balance puede permitir un

seguimiento más acertado en ese sentido en comparación al cronograma Gantt durante la puesta de obra específicamente dadas las ventajas de indicadas anteriormente.

- Existe en nuestro contexto de construcción peruano una gran deficiencia en la calidad de la información para una planificación inicial de los proyectos lo que genera una incorrecta planificación y finalmente incremento en los costos y tiempos de ejecución. Para el caso de estudio se ha considerado procesar la mayoría de datos extraídos de la misma constructora ejecutora del proyecto desde los metrados hasta el número de cuadrillas; para los modelos planteados cada uno fue independiente y de manera similar pasa con los proyectos de construcción en general; ya que, cada uno posee unos datos diferentes y de diferentes fuentes que definen una programación.

- Actualmente aún se mantiene una resistencia de los profesionales para poder cambiar la filosofía de programación de los proyectos nuevos en planificación y en cursos con la nueva herramienta a de líneas de balance; sin embargo, bajo las consideraciones estudiadas se puede decir que la herramienta ayuda, de gran manera, en la planificación y control de los proyectos en ejecución. Se espera que en los siguientes años esta herramienta pueda ser empleada y pueda ganar una mayor confianza en las planificaciones venideras.

7. CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFIA

Ballard G. (1999) What is Lean Construction. En: Seventh Conference of the International Group for Lean Construction, California - USA, IGLC

Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Journal*, 8., 1-19.

Brioso, X., Murguía, D., & Urbina, A. (2017). Teaching Takt-Time, Flowline, and Point-to-point Precedence Relations: A Peruvian Case Study. *Procedia Engineering*, 196, 666-673.

Brioso X., Murguía, D. and Urbina A. (2017) Comparing three scheduling methods using BIM models in the last planner system. *Organization, Technology and Management in Construction* 2017; 9: 1604–1614

Calampa S. (2014) Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones (tesis de pregrado). Lima, Peru: PUCP

Department of Management and Budget – MICHSPEC, Standard Contract Forms and Conditions of the Contract. Budget, State's Owner and Contractor Standard Construction Contract. Michigan: State of Michigan, 1997

Díaz R., J. y Loría A., J. H. "Hoja de cálculo para programar con la técnica de la línea de

- balance". Trabajo desarrollado en la Maestría en Ingeniería-Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Yucatán. Mérida, México (2002).
- Durand J. (2018) propuesta de gestión del planeamiento de obras de edificación mediante la metodología de líneas de flujo, el valor ganado y el resultado operativo proyectado en pequeñas y medianas empresas (tesis de pregrado). Lima, Peru: PUCP
- Forbes L.H., Ahmed S.M. (2011) Foundations of Lean Construction. En: Modern Construction, United States of America, Taylor & Francis
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control. Taylor & Francis.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control. Taylor & Francis
- Koskela L (1992). Application of the new production philosophy to construction. Stanford University, USA.
- Koskela, L., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. Design and Construction: Building in Value, 211-226.
- Loría, José (2011) Programación de Obras con la Técnica de la Línea de Balance.
- Lezam L.(2019) Influencia de la Ingeniería de Detalle en la Programación de la Etapa de Estructuras de un Proyecto de Edificación (tesis de pregrado). Lima, Peru: PUCP
- Leandro Antonelli, Adriana Chalar, Andrés Lisse, Antonio Pasquale (2013). Uso de Work Breakdown Structure para relevar las capacidades de un área de Information Technology. 7mo Simposio Argentino De Informatica En El Estado
- M. Burgos and D. Ávila, Análisis de las causas de incumplimiento de la programación en obras civiles. Bogotá: Universidad Militar de Nueva Granada, 2015.
- Mellan, Miguel (2008) Líneas de Balance o Grafico de Velocidades. ESCUELA DE

INGENIERIA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD CENTRAL, CHILE

- Murguía, D., and Urbina, A. (2018). "Complex Production Systems: Non-Linear and Non-Repetitive Projects." In: Proc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), González, V.A. (ed.), Chennai, India, pp. 858–868
- Nieto, A. (2009). Estrategias para la implementación del sistema de gestión Last Planner. Cartagena: XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Shakeel, A., & Monir, S. (2006). Significant factors causing delay in the UAE construction industry. *Construction Management and Economics*, 24, 1167- 1176.
- Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. *Lean Construction Journal*, 44-54.
- Seppänen, O. (2014). A comparison of Takt time and LBMS planning methods. 22nd Annual Conference of the Int'l. Group for Lean Construction. Oslo, Norway.
- Senaratne S., Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a strategic option: testing its suitability and acceptability in Sri Lanka
- Orihuela P. (2013). Lean Construction en el Perú, Lima – Peru: PUCP
- Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). La planificación de las obras y el sistema last planner. Lima: Corporación Aceros Arequipa. Construcción Integral, Boletín N° 12.
- Olawale, Y., & Sun, M. (2013). PCIM: Project Control and Inhibiting-Factors Management Model. *J. Manage. Eng.*, 60-70.
- Patel A. (2011). The Last Planner System for reliable project delivery, The University of Texas at Arlington. Arlington, Texas.
- PMBOK (2013) A guide to the Project management body of knowledge. Quinta edición. PMBOK®
- [PMI 2013] Project Management Institute. A guide to the project management body of

language. Fifth edition. ISBN 978-1-933890-51.

R. Akbas (2004), Geometry-based modeling and simulation of construction processes, PhD

Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University

Tommelein, I. (2017). Collaborative takt time planning of nonrepetitive work. Proceedings

of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction,

Heraklion, Greece

Urbina, A.Y Dueñas, D. (2018) Programación de fase en proyectos repetitivos y no-

repetitivos mediante líneas de flujo y modelos BIM (tesis de pregrado). Lima, Peru:

PUCP

