



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

INTEGRACIÓN DE PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN DE COVID-19 EN PLANIFICACIÓN BASADA EN LA UBICACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

FERNANDO ARTURO DÍAZ PEÑA

PROFESOR GUÍA:
LUIS ALARCÓN CÁRDENAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ROBERTO LUNA GUZMÁN
JOSÉ SALVATIERRA GARRIDO

SANTIAGO DE CHILE
2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil
ESTUDIANTE: Fernando Arturo Díaz Peña
FECHA: 2022
PROFESOR GUÍA: Luis Fernando Alarcón

INTEGRACIÓN DE PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN DE COVID-19 EN PLANIFICACIÓN BASADA EN LA UBICACIÓN

La pandemia causada por el COVID-19 ha afectado prácticamente todos los aspectos de la vida y la sociedad, desde la manera en que se desarrollan las relaciones interpersonales hasta la economía, y por supuesto el rubro de la construcción no fue la excepción, sufriendo por diversos factores, como lo son la escasez y encarecimiento de materiales de construcción y las cuarentenas y restricciones de movimiento impuestas por los gobiernos. Si bien las empresas constructoras no tienen muchas alternativas para remediar estos problemas ya que se encuentran fuera de su control, existen muchos otros impactos causados por la pandemia que son a lo menos reducibles, lo que crea múltiples oportunidades para encontrar alternativas que permitan mitigar al máximo los efectos negativos de esta.

Es en este contexto en el que surge este trabajo, el cual busca integrar el uso de medidas de prevención del COVID-19 con un sistema de planificación basado en ubicaciones, un método alternativo al ampliamente utilizado método de la ruta crítica (CPM) que presenta varias ventajas por sobre este. El objetivo de este trabajo es lograr incorporar de manera efectiva este método con las medidas preventivas de manera sinérgica, plasmando todo en un manual que permita implementar esto en proyectos de construcción en el país.

*Even if the war is won
we're the ones who lost.*

Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciendo a los profesores Luis Fernando, Roberto y José Luis, ya que son ellos quienes hicieron posible la realización de esta memoria. Gracias por la confianza y la paciencia. También quiero agradecer a todos los profesores y auxiliares con los que tuve clases durante la carrera, ya que todos aportaron su granito a mi formación como ingeniero.

Agradecer también a mi familia, principalmente a mis padres Fernando y Dorian y a mi hermana Consuelo, sin ellos nunca podría haber llegado a este punto de terminar la carrera. También a mis abuelos Rosa, Héctor, Fernando y Ana, quienes siempre estuvieron ahí cuando los necesité.

Claramente también agradecer a mis amigos, tanto los del colegio (Manchitos United/DonWeke/Ardidos) como a los de la universidad. Especialmente a Jordi, Kako, Pablo, Yeyo, Benja y Byron, con agradecimientos extra a los dos últimos por carrearne en infinidad de ocasiones.

Por último, agradecerle a mi polola Consuelo por su apoyo durante estos 7 años y medio, y por su constante presión por el tema de la memoria, ya que pese a ser incómodo efectivamente me ayudó a terminar.

Para terminar, quiero dedicar este trabajo a mis dos mascotas Chispa y Vane, que lamentablemente nos dejaron durante el período que me tomó terminar ese trabajo. Hasta siempre.

Tabla de Contenido

Capítulo 1 : Introducción	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Estructura del trabajo	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Metodología	3
1.5. Resultados esperados	3
Capítulo 2 : Marco Teórico.....	4
2.1. COVID-19	4
2.1.1. Diferencias entre COVID-19 y SARS-CoV-2.....	4
2.1.2. El virus SARS-CoV-2	4
2.1.3. Características de la enfermedad.....	6
2.1.4. Medidas de prevención.....	9
2.1.5. COVID-19 en Chile	12
2.2. Planificación basada en ubicaciones.....	15
2.2.1. Método de la ruta crítica	15
2.2.2. Líneas de balance	16
2.2.3. Líneas de flujo.....	17
2.2.4. Location-Based Management System	17
Capítulo 3 : Manual de Implementación.....	31
3.1. Introducción.....	31
3.1.1. Formato del manual.....	31
3.1.2. Antecedentes.....	31
3.2. Implementación de LBMS.....	32
3.2.1. Estructura del LBMS.....	33
3.2.2. Consideraciones previas	34
3.2.3. Levantamiento de información.....	35
3.2.4. Creación de la LBS	36
3.2.5. Planificación basada en ubicaciones	38

3.2.6. Control basado en ubicaciones	51
3.2.7. Integración con Last Planner System	66
3.2.8. Resultados esperados	67
3.3. Protocolos de prevención.....	68
Capítulo 4 : Resumen del Manual	71
4.1. Información y LBS.....	71
4.2. Planificación	71
4.3. Control	72
4.4. Medidas de prevención	74
Capítulo 5 : Resultados y Conclusiones	75
5.1. Objetivos y resultados	75
5.2. Conclusiones	75
5.3. Trabajo futuro	76
Bibliografía	77
Anexos.....	82
Anexo A : Matrices de Comparación	83
A.1. Matriz de selección de componentes LBMS.....	83
A.2. Matriz de selección de medidas preventivas	90
Anexo B : Ejemplo de Entrevistas.....	93
Anexo C : Instructivo Project.....	99

Índice de Tablas

Porcentaje de casos asintomáticos por rango etario (Sah, y otros, 2021).....	7
Tasas de Letalidad por país (Johns Hopkins University, 2021)	8
Tasa de Letalidad por rango etario (Levin, y otros, 2020)	9
Estadísticas COVID-19 por región (MINSAL, 2021)	14
Matriz de comparación ventajas/componentes (Elaboración propia)	84
Matriz de comparación medidas/componentes (Elaboración propia)	91

Índice de Ilustraciones

Mecanismos de transmisión del virus (Tabatabaeizadeh, 2021)	5
Fallecidos por mes (DEIS MINSAL, 2021)	13
Fallecidos según rango etario (DEIS MINSAL, 2021)	13
Fallecidos según sexo (DEIS MINSAL, 2021)	14
Ejemplo de líneas de balance (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 61).....	16
Ejemplo de líneas de flujo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 72)	17
Niveles de jerarquía (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 126)	20
Diagrama de la LBS (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 126).....	20
Planificación basada en ubicaciones (Andersson & Christensen, 2007).....	22
Etapas del control (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 282).....	25
Carta Gantt basada en ubicaciones (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 140).....	28
Ejemplo de tabla de control (Seppänen & Aalto, 2005).....	29
Ejemplo de ramas en la LBS (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 208).....	37
Ejemplo de sectorización de un edificio (GEPRO, 2021)	38
Plan no alineado (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 221)	41
Plan con recursos adicionales (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 222).....	42
Plan con cambio de escala (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 224).....	43
Plan con cambio de secuencia (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 225)	44
Secuencia más desfavorable (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 226)	45
Secuencia más favorable (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 226)	45
Reducción del tiempo de secado (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 227).....	46
División de tareas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 228).....	47
Ejemplo de buffers (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 236)	49
Tipos de desviación (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 346).....	54
Efecto de un retraso al iniciar (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 349)	55

Desviación en la tasa de producción (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 349)	56
Efectos de la separación de trabajo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 350)	57
Efectos del trabajo fuera de secuencia (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 351).....	57
Problema en líneas de flujo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 361).....	60
Acción de control en líneas de flujo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 362)	61
Agrupación de equipos (Elaboración propia)	100
Orden por pisos (Elaboración propia)	101
Inicio Línea de Balance (Elaboración propia).....	101

Capítulo 1: Introducción

1.1. Motivación

La pandemia causada por el COVID-19 ha afectado prácticamente todos los aspectos de la vida y la sociedad, desde la manera en que se desarrollan las relaciones interpersonales hasta la economía, donde los impactos fueron enormes, causando que en tramos del año 2020 el Producto Interno Bruto (PIB) de las grandes economías a nivel mundial se redujera entre un 5% y 10%, con ejemplos como Australia, Rusia, China, Reino Unido y los Estados Unidos. Incluso peor fue el caso de la India, que vio su PIB reducido en casi un 24% durante el primer cuarto de 2021 (Biswas, y otros, 2021).

Por supuesto el rubro de la construcción no fue la excepción, sufriendo por diversos factores, como lo son la escasez y encarecimiento de materiales de construcción (Alshare, Banerjee, Uddin, Albert, & Jaselskis, 2021) y las cuarentenas y restricciones de movimiento impuestas por los gobiernos (Esa, Ibrahim, & Kamal, 2020), que causaron, entre otros problemas, aumentos tanto en los costos como en los tiempos de realización de los proyectos. Si bien las empresas constructoras no tienen muchas alternativas para remediar estos problemas ya que se encuentran fuera de su control, existen muchos otros impactos causados por la pandemia que son a lo menos reducibles, lo que crea múltiples oportunidades para encontrar alternativas que permitan mitigar al máximo los efectos negativos de esta.

Dentro de estos impactos mitigables se encuentran, entre otros, el transporte de los trabajadores desde y hacia la obra, la gestión de todos los permisos necesarios para la operación, la adquisición y distribución de los materiales que se alcancen a conseguir, y la correcta implementación de medidas de prevención de la enfermedad. Es aquí donde surge la idea de investigar el uso de métodos de planificación y control de obra para intentar mitigar estos impactos, específicamente métodos basados en ubicaciones, que son poco conocidos e implementados en el país.

1.2. Estructura del trabajo

Este trabajo se divide en cinco capítulos, comenzando por el capítulo introductorio del que esta sección forma parte. Este capítulo, como su nombre lo indica, busca exponer aspectos generales del trabajo realizado. Luego, el segundo capítulo corresponde al marco teórico, en donde se exponen los principales aspectos obtenidos de la bibliografía, con respecto a medidas de prevención de COVID-19 y a planificación basada en ubicaciones. El siguiente capítulo es el manual de implementación, donde se reúnen todos los conocimientos obtenidos en la revisión bibliográfica y se plasman en un manual a seguir que permita implementar la integración de planificación basada en ubicaciones con medidas de prevención de COVID-19 en nuevos proyectos. Finalmente, el último capítulo corresponde al de análisis de resultados y conclusiones, donde se concluye en base a todo lo anterior.

1.3. Objetivos

Principal:

- Proponer una metodología de implementación de LBMS que incorpore medidas sanitarias para la prevención del COVID-19 basada en el trabajo experimental realizado por GEPUC y empresas asociadas.

Secundarios:

- Identificar qué aspectos de LBMS permiten mejorar las medidas de prevención del COVID-19.
- Identificar las dificultades que presentan las constructoras durante el proceso de implementación de LBMS.
- Evaluar el impacto de la implementación de LBMS.
- Integrar protocolos de protección de COVID en la planificación basada en la ubicación.
- Comparar distintas representaciones y métodos de LBMS y proponer los más adecuados para la integración.

1.4. Metodología

A continuación se presentan los pasos seguidos, de manera general, para la realización de este trabajo de título.

- Recopilación de bibliografía sobre el método LBMS, sus distintas representaciones y su correcta implementación.
- Recopilación de bibliografía sobre las medidas de prevención de COVID-19 a llevar a cabo en una obra de construcción.
- Creación del manual de implementación del método junto a medidas de prevención.

1.5. Resultados esperados

Se espera obtener un manual que reúna todos los pasos a seguir para la correcta implementación del método LBMS incluyendo la implementación de medidas sanitarias para la prevención del COVID-19.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. COVID-19

Ya que la pandemia vivida por el planeta desde fines de 2019 es una parte fundamental de este trabajo, tanto por ser la principal causa de fondo de la realización del mismo como por estar este directamente relacionado con las medidas de prevención de la enfermedad, corresponde comenzar hablando de ella.

2.1.1. Diferencias entre COVID-19 y SARS-CoV-2

Primero, es importante establecer las nomenclaturas técnicamente correctas. Se suele utilizar COVID-19 y coronavirus de forma intercambiable para referirse de manera general tanto a la enfermedad como al virus causante de esta, pero esto no es del todo correcto. COVID-19 es un acrónimo de *enfermedad por coronavirus de 2019* (*coronavirus disease 2019* en inglés), y, como su nombre lo indica, se refiere a la enfermedad infecciosa causada por el virus. Por otra parte, coronavirus se refiere a una subfamilia de virus que tienen características en común, siendo todos virus ARN monocatenario positivos y estando presentes en aves y mamíferos, incluyendo dentro de este último grupo a los humanos (Cui, Li, & Shi, 2019). De hecho, han existido epidemias anteriores a la pandemia actual causadas por otros coronavirus que también resultaron ser potencialmente letales para las personas (Schoeman & Fielding, 2019).

Dentro de este grupo de coronavirus se encuentra el causante del COVID-19, inicialmente llamado 2019-nCoV, *nuevo coronavirus de 2019* (*2019-novel coronavirus* en inglés), pero que, luego de tener suficiente información sobre él, finalmente se terminó nombrando como SARS-CoV-2, *coronavirus de tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo* (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* en inglés) (Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses, 2020).

En resumidas cuentas, COVID-19 es la enfermedad provocada por el virus SARS-CoV-2, el cual es un tipo de coronavirus.

2.1.2. El virus SARS-CoV-2

Como se mencionó anteriormente, el SARS-CoV-2 es el virus causante del COVID-19. Lógicamente es un virus que afecta a los humanos, pero se cree que su origen es zoonótico, esto es, que el primer contagio humano proviene de un animal (Zhou, y otros, 2020). Como se puede suponer por su nombre, es el sucesor del también coronavirus SARS-CoV-

1, el cual causó una epidemia a inicios del siglo (Schoeman & Fielding, 2019). Un detalle importante es que existen miles de variantes del virus, las que pueden traer consigo implicancias muy relevantes como una mayor transmisibilidad o una reducción en la efectividad de las vacunas. Actualmente, la OMS ha indicado cuatro variantes de preocupación; alfa, beta, gamma y delta, cada una con distintas características, pero que en general implican una mayor transmisibilidad (Organización Mundial de la Salud, 2021).

La forma de transmisión de este virus es mediante pequeñas gotas de saliva que se expulsan al aire al estornudar, toser, hablar e incluso al respirar, gotas que luego pueden contagiar a una persona al entrar en contacto con sus ojos, nariz o boca. Dichas gotas tienen dos grandes maneras de propagación de acuerdo a su tamaño: las gotas más grandes, con tamaños por sobre los 5 a 10 micrómetros, terminan cayendo al piso debido a la gravedad, mientras que las partículas de tamaños menores terminan suspendidas en el aire formando aerosoles, los que se pueden mantener en el aire por mucho tiempo y recorrer enormes distancias (Tabatabaeizadeh, 2021). Existen tres formas principales en las que se da este contacto; la primera es el contacto directo al encontrarse el receptor en proximidad del contagiado, recibiendo el primero las gotas de manera directa. Luego se tiene el caso de lugares poco ventilados y/o muy llenos de gente, en donde los aerosoles producen el contagio incluso a personas que se encuentren a una gran distancia del emisor. Por último, cabe la posibilidad de contagiarse al tocar alguna superficie que previamente recibió gotas y que luego las manos entren en contacto con boca, nariz u ojos. Este tema sigue siendo arduamente investigado para tener un mejor entendimiento de los mecanismos de transmisión y así mejorar la prevención de contagios de COVID-19, por lo que esta información podría resultar imprecisa en un futuro (Organización Mundial de la Salud, 2020).

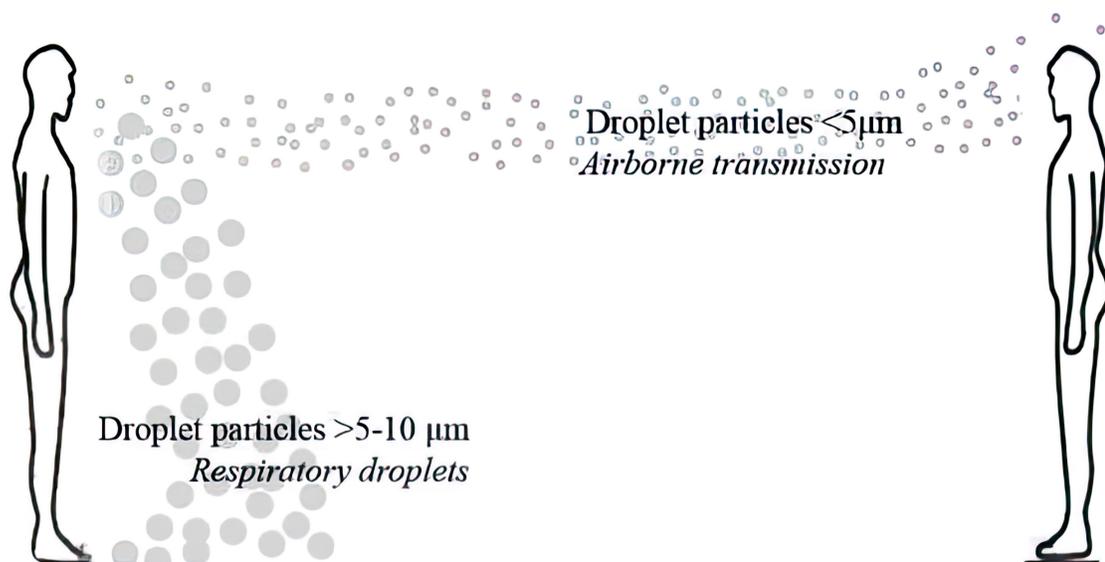


Ilustración 2.1: Mecanismos de transmisión del virus (Tabatabaeizadeh, 2021)

Cabe destacar que, si bien queda mucha más información sobre el virus, como podrían ser detalles de su virología y epidemiología, esta se escapa al alcance de este trabajo.

2.1.3. Características de la enfermedad

El COVID-19 es una enfermedad contagiosa que desde fines del año 2019 está causando una pandemia a nivel global. A 9 de septiembre de 2021, ha habido 222.406.582 casos confirmados de la enfermedad, junto con 4.592.934 muertes asociadas a esta. Los países más afectados de acuerdo con cifras oficiales son Estados Unidos, India y Brasil (Organización Mundial de la Salud, 2021).

2.1.3.1. Sintomatología

Los síntomas más comunes son fiebre, tos y fatiga, aunque varían mucho de persona en persona, pudiendo presentar mialgia (dolores musculares), disnea (dificultad respiratoria), dolor de garganta, hiposmia (pérdida del olfato), confusión, escalofríos, entre otros (Grant, y otros, 2020). En los casos más graves puede incluir neumonía, choque séptico, síndrome de dificultad respiratoria aguda y falla multiorgánica, los que pueden llevar a la muerte (Hui, y otros, 2020). Estas complicaciones son más probables en personas de mayor edad, en general sobre los 65 años, y en personas que presentan alguna comorbilidad, siendo las más comunes diabetes y problemas cardíacos (Murthy, Gomersall, & Fowler, 2020).

2.1.3.2. Secuelas de la enfermedad

Además de los síntomas presentados anteriormente, la enfermedad puede producir secuelas y complicaciones por bastante tiempo después de haberla padecido. Esto se da principalmente en personas que presentaron síntomas graves y requirieron hospitalización. Se ha visto que muchas de estas personas experimentan síntomas como fatiga, dificultad para respirar y dolores por varios meses luego de haber enfermado (Ross, y otros, 2020). Además de esto, se ha presentado en algunos niños el *síndrome inflamatorio pediátrico multisistémico*, PIMS, (del nombre en inglés *paediatric inflammatory multisystem syndrome*) luego de la enfermedad. Este síndrome es una rara enfermedad sistémica que causa fiebre e inflamación extrema, pudiendo incluso resultar en la muerte del niño en algunos casos graves. Aún no se conoce mucho de esta enfermedad, y algunos factores como los efectos a largo plazo son completamente desconocidos (Ahmed, y otros, 2020).

2.1.3.3. Mecanismos de contagio

En cuanto a los mecanismos de contagio, estos ya fueron descritos en la sección anterior, pero quedan detalles que son importantes de mencionar. Si se analiza el factor R_0 , que indica cuantos nuevos casos genera un caso dado en promedio, se tiene que este varía considerablemente según ubicación geográfica, pero que el promedio mundial es de 2.87 para la variante original del virus (Billah, Miah, & Khan, 2020). Es importante destacar que las nuevas variantes descritas por la OMS en la sección 2.1.2 presentan un factor R_0 mayor a la cepa original. Por ejemplo, la variante alfa presenta un R_0 de entre 4 y 5, mientras que la variante delta tiene uno de entre 5 y 8 (BBC, 2021).

2.1.3.4. Casos asintomáticos

Una de las características más relevantes del COVID-19, que ha ayudado mucho a que esta enfermedad se haya transformado en la pandemia que vivimos actualmente, es el hecho de que es posible estar contagiado de la enfermedad pero no expresar ningún tipo de síntoma, lo que se conoce como caso asintomático. Esto implica que la persona asintomática no tendrá ninguna manera de saber que padece la enfermedad, por lo que tampoco podrá tomar medidas para evitar contagiar a otros, lo que podría causar un enorme número de contagios adicionales. Actualmente se estima que el 35.1% de los casos positivos de COVID-19 son casos asintomáticos, porcentaje que varía considerablemente según el rango etario (Sah, y otros, 2021). En la Tabla 2.1 se presenta este detalle, siendo menor el porcentaje a mayor edad de los individuos.

Tabla 2.1: Porcentaje de casos asintomáticos por rango etario (Sah, y otros, 2021)

Rango Etario [años]	Estimado [%]
0 a 18	46.7
19 a 59	32.1
Más de 60	19.7

2.1.3.5. Reinfeción

Una característica de la que aún no se tienen suficientes conocimientos es la reinfeción de personas que ya sufrieron la enfermedad anteriormente. De acuerdo con los estudios que se han realizado, el porcentaje de personas que sufren reinfeción sería pequeño, menor al 1% de los contagiados (Qureshi, y otros, 2021). Los resultados han sido dispares en cuanto al tiempo de duración de la “inmunidad” luego de haber padecido la enfermedad, pero se tienen datos de que esta sería considerablemente menor en personas de la tercera edad (Hansen, Michlmayr, Gubbels, Mølbak, & Ethelberg, 2021).

2.1.3.6. Mortalidad

La letalidad de la enfermedad es, por razones obvias, uno de los aspectos más relevantes de esta. Como ya se mencionó en este trabajo, a la fecha el COVID-19 ha cobrado casi 5 millones de vidas (Organización Mundial de la Salud, 2021), y lamentablemente seguirá haciéndolo, por lo que es fundamental el tomar todas las medidas preventivas necesarias. La mortalidad de la enfermedad es un tema muy debatido, ya que las tasas oficiales varían de manera muy significativa entre países, por lo que es casi imposible determinar una a nivel mundial con un nivel de confianza suficiente. Esto se debe a

muchos factores, entre ellos al criterio que cada país utiliza para definir una muerte causada por la enfermedad, a las políticas y número de testeos de cada país, a los factores socioeconómicos que afectan al posible tratamiento que recibirán los enfermos, a diferencias en las características de la población, principalmente etarias, entre muchos otros (Karanikolos & McKee, 2020). A modo de ejemplo, en la Tabla 2.2 se muestran las tasas de letalidad para varios países distintos, donde se puede notar perfectamente las enormes diferencias (Johns Hopkins University, 2021). Cabe destacar que la tasa de letalidad comparada para las muertes causadas por el COVID-19 con respecto a los casos de este, no con respecto a la población del país.

Tabla 2.2: Tasas de Letalidad por país (Johns Hopkins University, 2021)

País	Tasa de Letalidad [%]
Alemania	2.3
Perú	9.2
Estados Unidos	1.9
China	4.5
Yemen	18.7
Laos	0.1
Venezuela	0.7

Un factor que definitivamente afecta mucho en la letalidad de la enfermedad es la edad de los contagiados, lo que es esperable considerando que los síntomas graves tienen mayor probabilidad de aparición a medida que aumenta la edad, como se mencionó anteriormente en esta misma sección. Esto queda demostrado en la Tabla 2.3, donde se muestra un análisis hecho utilizando datos de varios países que ejemplifica como la tasa de letalidad va aumentando a medida que lo hace la edad, teniendo un aumento muy significativo en el último tramo (Levin, y otros, 2020).

Tabla 2.3: Tasa de Letalidad por rango etario (Levin, y otros, 2020)

Rango etario [años]	Tasa de Letalidad [%]
0 a 34	0.004
35 a 44	0.068
45 a 54	0.23
55 a 64	0.75
65 a 74	2.5
75 a 84	8.5
Más de 85	28.3

2.1.4. Medidas de prevención

A la hora de combatir la pandemia, probablemente la mejor herramienta es la prevención de la enfermedad, ya que sólo así esta puede ser contenida y, eventualmente, superada. Las medidas de prevención que se pueden adoptar dependen de los mecanismos de contagio del virus, los cuales fueron expuestos en la sección 2.1.2, y, a grandes rasgos, estas son utilizar mascarilla, mantener distanciamiento social, evitar lugares cerrados y/o repletos de gente, lavarse las manos constantemente, desinfectar superficies, vacunarse, taparse la boca al toser o estornudar y estar atento ante cualquier síntoma de la enfermedad (Centers for Disease Control and Prevention, 2021). Es importante recalcar que la efectividad de todas estas medidas depende completamente de la responsabilidad personal de todos, ya que ningún gobierno ni institución puede lograr hacer que estas se cumplan a cabalidad en todos los ámbitos, por lo que es imperativo informar y concientizar a la población al respecto de estas y de su importancia.

2.1.4.1. Uso de mascarillas

Se sabe que el virus se transmite mediante minúsculas gotas de saliva expulsadas por las personas contagiadas, por lo que el principal método de prevención es el uso de mascarillas, estando respaldado por muchos estudios que avalan su eficacia en el control de la enfermedad (Tabatabaeizadeh, 2021), (Li, y otros, 2021).

Las mascarillas comerciales se suelen clasificar, a grandes rasgos, en dos tipos: por una parte están las mascarillas quirúrgicas, ampliamente comercializadas, y por otra parte

las más costosas y de menor disponibilidad pero pensadas para filtrar de mejor manera partículas en el aire, siendo las más comunes las N95 (Estados Unidos), las FFP2 (Europa) y las KN95 (China). Existen estudios que demuestran que ambos tipos son muy efectivos a la hora de evitar que las gotas de saliva las traspasen, pero su efectividad frente a los aerosoles que se producen es lo que las diferencia, ya que las de la segunda categoría fueron diseñadas para trabajadores del área de la salud que deban cumplir sus labores en ambientes con presencia de aerosoles (Howard, y otros, Face Masks Against COVID-19: An Evidence Review, 2020). Sin embargo, se debe notar que ninguna de estas mascarillas protege completamente contra aerosoles, y además es necesario tener en cuenta que las condiciones utilizadas para probar las mascarillas en los laboratorios no son las mismas que en su uso cotidiano, por lo que no existe un número conciso que cuantifique la efectividad de estas evitando el contagio de COVID-19.

Debido a esta discrepancia entre laboratorio y realidad, junto con otros factores, principalmente sociales en cuanto al correcto uso de estas, se basan las medidas sugeridas en los estudios hechos tomando grupos de personas como los mencionados al inicio de esta sección. De estos estudios se ha obtenido, por ejemplo, que pese a los estudios realizados en laboratorios, no existe suficiente evidencia de que las mascarillas de tipo N95 y similares sean más efectivas para evitar contagios que las mascarillas quirúrgicas en el grueso de la población, por lo que se sugiere reservar su uso para personal médico (Barycka, y otros, 2020). También se ha descubierto que estas no sólo son efectivas para evitar que el portador se contagie, sino que también aportan mucho a la hora de evitar que personas enfermas contagien a otras en el caso de que las primeras estén usando una (Asadi, y otros, 2020). Incluso se sabe que el uso de mascarillas puede reducir la gravedad de la enfermedad en caso de que el portador la contraiga, ya que esta reduce la cantidad de gotas recibidas, lo que a su vez disminuye la carga viral, terminando así en un contagio de menor severidad (Gandhi, Beyrer, & Goosby, 2020).

Pese a todas las bondades de las mascarillas, es fundamental entender que estas no garantizan inmunidad ante un contagio del virus, y, muy por el contrario, son herramientas cuyo mejor funcionamiento se obtiene si su uso es adoptado por la gran mayoría de la población, ya que así se suma el efecto de la disminución en emisión de gotas con virus por parte de las personas contagiadas con el de la disminución en las partículas respiradas por las personas sanas (Howard, y otros, 2021). Junto con esto, existen estudios que demuestran que la efectividad de las mascarillas depende de la abundancia de virus en el ambiente, por lo que el uso de mascarilla debe ir de la mano con el distanciamiento social y el evitar lugares cerrados y poco ventilados (Cheng, y otros, 2021).

2.1.4.2. Distanciamiento social

Ya que el virus se transmite mediante gotas en el aire, una de las principales medidas que se deben tomar para prevenirlo es el mantener distanciamiento de las demás personas, siendo la distancia mínima tradicionalmente recomendada de 2 metros o 6 pies

(Centers for Disease Control and Prevention, 2021). Esta recomendación viene del hecho de que las gotas expulsadas pueden ser o gotas que caen rápidamente o aerosoles, y existen estudios con mucho tiempo de vigencia que indican que las gotas caen a menos de 2 metros del emisor (Wells, 1955). Esto también se ve reforzado por estudios realizados que indican que la transmisión del virus disminuye considerablemente cuando se tiene por lo menos 1 metro de distancia, experimentando esta una disminución aún mayor al aumentar la distancia (Chu, y otros, 2020).

Sin embargo, existen estudios que aseguran que esta distancia debe ser mayor, ya que los supuestos realizados para obtener los 2 metros son demasiado simplistas e idealistas, y no toman en cuenta un gran número de factores, como el hecho de que no todas serán expulsadas con la misma velocidad, por ejemplo, el jadeo de una persona que ha realizado ejercicio aeróbico enviará gotas con mayor velocidad, lo que implica que estas alcanzarán una mayor distancia. Tampoco se consideran factores externos que puedan prolongar la distancia de viaje de estas gotas, como serían corrientes de aire producidas por el viento en exteriores, o por sistemas de ventilación en interiores (Jones, y otros, 2020).

En general, se puede asumir 2 metros como la mínima distancia necesaria, pero siempre intentando que esta sea lo mayor posible.

2.1.4.3. Desinfección de superficies

El último mecanismo de contagio consiste en que algunas gotas con carga viral caigan en superficies, y que luego personas las toquen con las manos y terminen llevándose las manos a la boca y ojos. Se han realizado estudios al respecto de la supervivencia del virus en distintas superficies y se han encontrado resultados muy dispares, variando desde algunas horas hasta casi un mes. Sin embargo, esto tiene mucho que ver con factores ambientales, y en condiciones normales la enorme mayoría de materiales presentan una supervivencia del virus menor a una semana, usualmente entre 1 y 4 días (Noorimotlagh, y otros, 2021).

Estos factores ambientales son principalmente la temperatura y la humedad relativa del ambiente, teniendo el virus una mayor supervivencia con menor temperatura y humedad. También se ha descubierto que la luz ultravioleta artificialmente generada es capaz de eliminar el virus, y existen evidencias incompletas de que la luz solar es capaz de reducir la supervivencia del virus (Aboubakr, Sharafeldin, & Goyal, 2020).

Existen evidencias de la efectividad de varios agentes para desinfectar de manera efectiva superficies, siendo las principales formulaciones basadas en alcohol (etanol y 2-propanol) y compuestos basados en amonio cuaternario (Oglivie, y otros, 2021).

2.1.5. COVID-19 en Chile

De acuerdo con todo lo mencionado en la sección 2.1.3, es claro que los efectos que provoca la pandemia varían de gran manera según el país, por lo que es importante contextualizar específicamente a la situación de Chile. A la fecha del 13 de septiembre de 2021, en Chile se han registrado 1.644.540 casos confirmados de la enfermedad, con 37.253 fallecidos confirmados, lo que arroja una tasa de letalidad de 2.26% (MINSAL, 2021). Sin embargo, es importante notar que además se tienen 10.768 fallecidos que se sospecha perdieron la vida a causa del COVID-19, pero que aún no ha sido confirmado. Esto dejaría el total en 48.021 fallecidos por la enfermedad en caso de comprobarse todos ciertos (DEIS MINSAL, 2021). Hasta la fecha se han realizado en total 20.953.994 exámenes, siendo el 96.4% de estos test de PCR, con el otro 3.6% correspondientes a test de antígenos (MINSAL, 2021).

La distribución geográfica de estos casos y fallecidos se da de manera proporcional a la población de cada región, quedando esto ejemplificado en la Tabla 2.4. La distribución temporal de los fallecimientos, mostrada en la Ilustración 2.2, ha tenido altibajos de acuerdo con olas de contagios, fenómeno observado en muchos países (Íftmie, y otros, 2021). Los fallecidos son en su enorme mayoría personas sobre los 60 años de edad, esperable de acuerdo al aumento de la letalidad del virus según edad ya antes mencionado (Levin, y otros, 2020). Esta distribución etaria se puede ver en la Ilustración 2.3, en la que también se observa una tendencia hacia los hombres que queda confirmada al observar la distribución de fallecimientos según sexo en la Ilustración 2.4, tendencia que, por cierto, se ha observado en la mayoría de los países del mundo (Peckham, y otros, 2020).

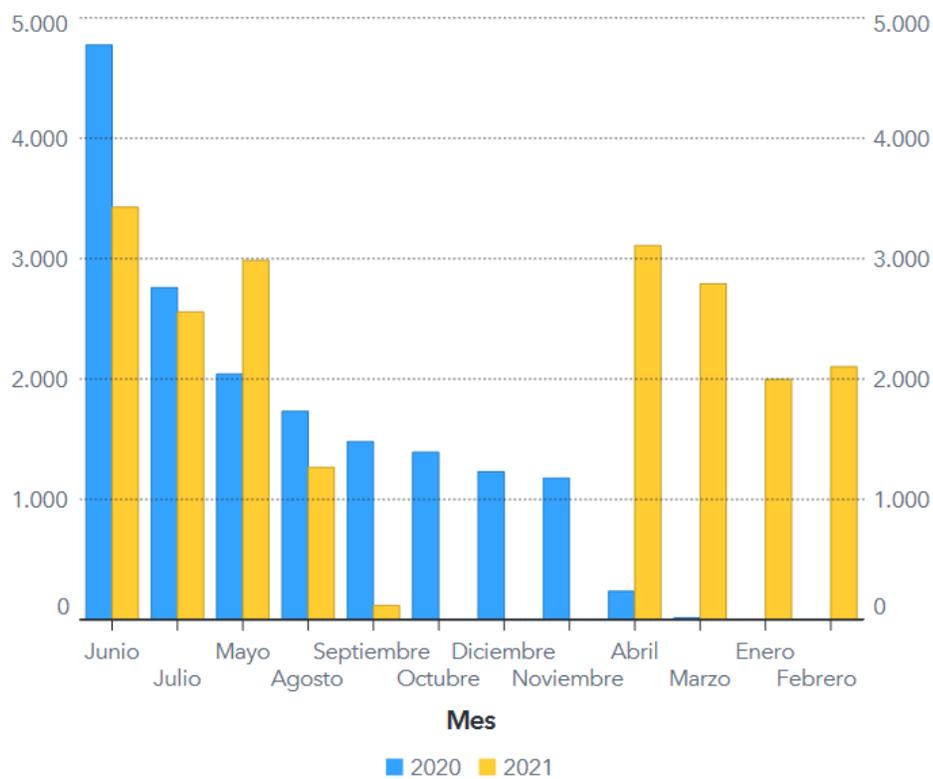


Ilustración 2.2: Fallecidos por mes (DEIS MINSAL, 2021)

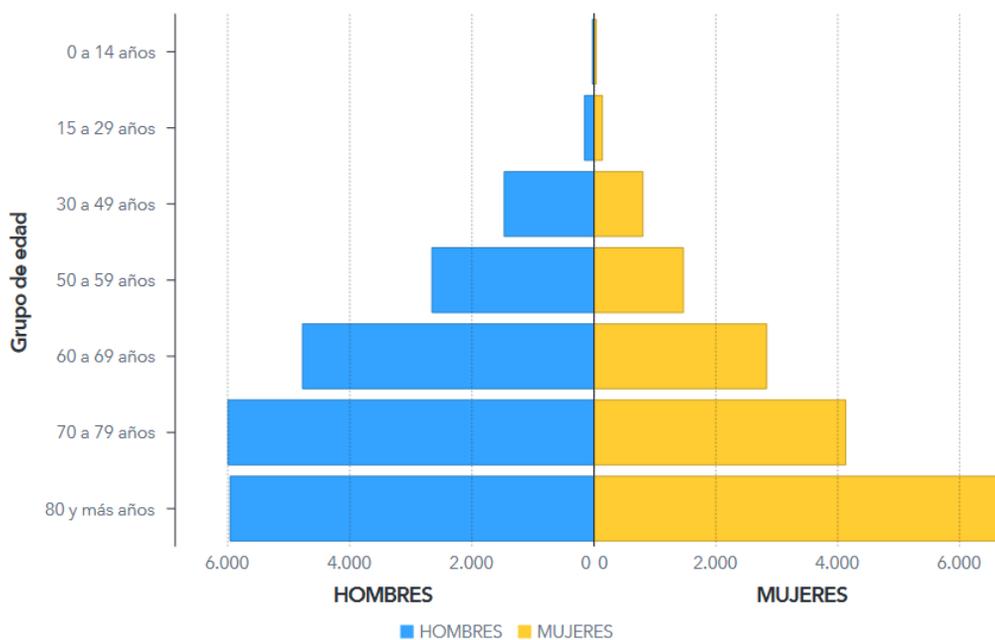


Ilustración 2.3: Fallecidos según rango etario (DEIS MINSAL, 2021)

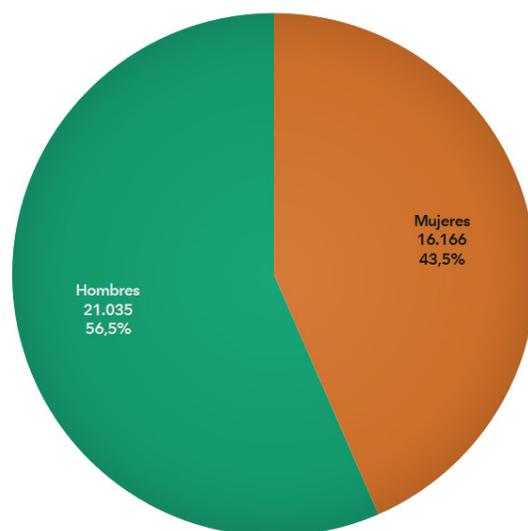


Ilustración 2.4: Fallecidos según sexo (DEIS MINSAL, 2021)

Tabla 2.4: Estadísticas COVID-19 por región (MINSAL, 2021)

Región	Casos confirmados	Fallecidos	Habitantes
Arica y Parinacota	26.817	528	255.068
Tarapacá	41.182	808	391.558
Antofagasta	60.831	1.240	703.534
Atacama	27.211	351	316.168
Coquimbo	48.490	1.017	848.079
Valparaíso	122.825	3.450	1.979.373
Metropolitana	687.232	19.081	8.242.459
O'Higgins	68.466	1.540	1.000.959
Maule	101.363	1.774	1.143.012
Ñuble	35.874	641	514.609
Biobío	150.752	2.659	1.670.590
Araucanía	98.068	1.500	1.019.548
Los Ríos	49.260	688	407.837
Los Lagos	88.680	1.401	897.708
Aysén	8.191	77	107.158
Magallanes	29.249	498	179.533
Desconocida	49	0	-
Total	1.644.540	37.253	19.677.193

2.2. Planificación basada en ubicaciones

El gran foco de este trabajo corresponde a la implementación de la planificación basada en ubicaciones a un proyecto de construcción, siendo este método de planificación una alternativa al tradicionalmente usado que presenta ciertas ventajas con respecto a él, ventajas que serán mencionadas en su respectiva sección, ya que, si se va a implementar un nuevo método por poseer ventajas sobre el ya utilizado, es importante comenzar describiendo este último.

2.2.1. Método de la ruta crítica

El método de la ruta crítica, CPM por sus siglas en inglés (*Critical Path Method*), es un método de planificación basado en actividades, siendo por lejos el más utilizado a lo largo del mundo actualmente (Ahmed F. , 2018). Es un método que se basa en que todo el trabajo debe ser realizado de manera secuencial, separando el proyecto en tareas individuales que, en conjunto, lo representan. Estas tareas se encuentran representadas por flechas que indican la existencia de cada tarea, además de la dirección en la que fluye el tiempo, desde la cola a la punta de la flecha. Las flechas se encuentran interconectadas para representar de manera gráfica la secuencia en la que los trabajos deben ser realizados. El resultado es una representación topológica del proyecto (Kelley & Walker, 1959). Cada tarea tiene asignada una duración y una fecha de inicio, y la ruta crítica es la secuencia más larga de actividades, desde el inicio hasta el final del proyecto, que tiene que empezar y terminar exactamente cuando se ha previsto para garantizar la finalización del proyecto en una fecha determinada.

Este método lleva muchos años siendo el más utilizado, y durante estos se ha verificado que es un método efectivo para la planificación de proyectos (Andersson & Christensen, 2007), siendo descrito como un método efectivo para la planificación y el control de proyectos no lineales, permitiendo presentar la información en una manera muy funcional mediante gráficos que la hacen visible y fácilmente comunicable (Baker & Trietsch, 2009).

Pese a esto, en años recientes ha recibido algunas críticas, incluyendo la incapacidad de gestionar el flujo continuo de trabajo y recursos en el proceso de construcción (Andersson & Christensen, 2007). Además, se ha cuestionado que el método actualice constantemente el plan con nuevas fechas de término al sufrir retrasos, en lugar de utilizar algún método de control para manejar las desviaciones durante la construcción (Seppänen, Evinger, & Mouflard, 2014). Es debido a estos problemas que se han explorado alternativas, las que se describirán a continuación.

2.2.2. Líneas de balance

Una de las alternativas a CPM es el método de líneas de balance, un método de programación gráfica que comenzó como un método de planificación para producción y manufactura industrial. Es debido a este origen que el método fue originalmente diseñado para proyectos de construcción repetitivos, siendo este su principal fuerte (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 58). Se basa en la relación entre la cantidad de unidades terminadas y la tasa de producción de estas, asumiendo la relación lineal, lo que entrega el énfasis en producción repetitiva.

En construcción, las unidades (casas, pisos, etc.) requieren de varias actividades distintas para ser completadas. Esto se maneja preparando un plan CPM para el trabajo de cada actividad, el que luego debe ser repetido en la otras. Un ejemplo del método se encuentra en la Ilustración 2.5, donde se tiene el tiempo en el eje horizontal y las unidades en el vertical, en este caso siendo casas. Las tareas se encuentran representadas por dos líneas paralelas y diagonales, siendo la duración de esta tarea la distancia horizontal entre ambas. La tasa de producción corresponde a la pendiente de las líneas, si esta es más inclinada significa que la velocidad a la que se lleva a cabo dicha tarea es mayor.

Este método presenta bastantes ventajas por sobre CPM para proyectos repetitivos, y ha sido implementado en varios tipos de construcciones como lo son edificios de altura, casas de varios pisos y proyectos de vialidad (Arditi, Tokdemir, & Suh, 2001). Estos beneficios incluyen continuidad en el proceso de construcción y optimización en el uso de cuadrillas de trabajo, lo que permite maximizar la productividad (Ammar & Abdel-Maged, 2017).

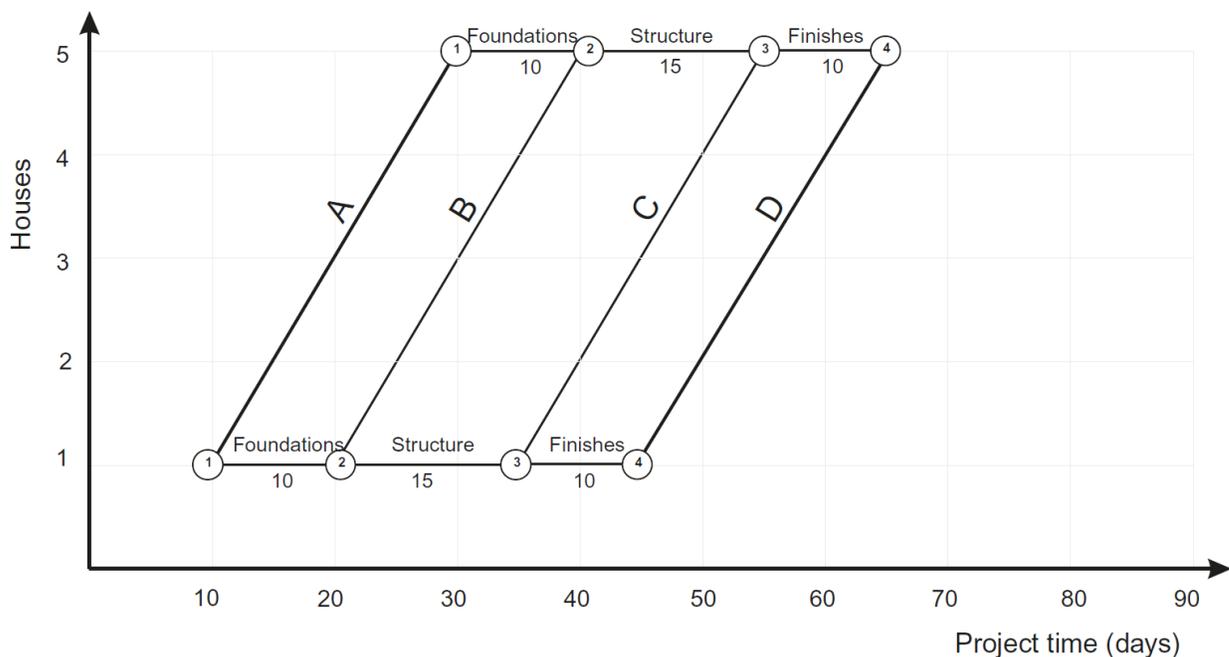


Ilustración 2.5: Ejemplo de líneas de balance (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 61)

2.2.3. Líneas de flujo

Otro método de planificación lineal muy similar al de líneas de balance es el de líneas de flujo, el cual fue desarrollado para trabajar con proyectores normales, no necesariamente repetitivos (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 72).

Como se mencionó, es muy similar al método de líneas de balance, pero en lugar de utilizar la cantidad de unidades, se utilizan ubicaciones, entendiéndose estas como espacios dentro del proyecto de tamaño similar. En este método, las actividades son representadas por una sola línea que fluye a través de todas las ubicaciones, como se puede ver en la Ilustración 2.6. La tasa de producción de cada tarea también está dada por la pendiente de la recta, y las relaciones lógicas están dadas por las flechas punteadas, que indican cuando una tarea puede comenzar en cierta ubicación dada tras la finalización de otra que la precedía.

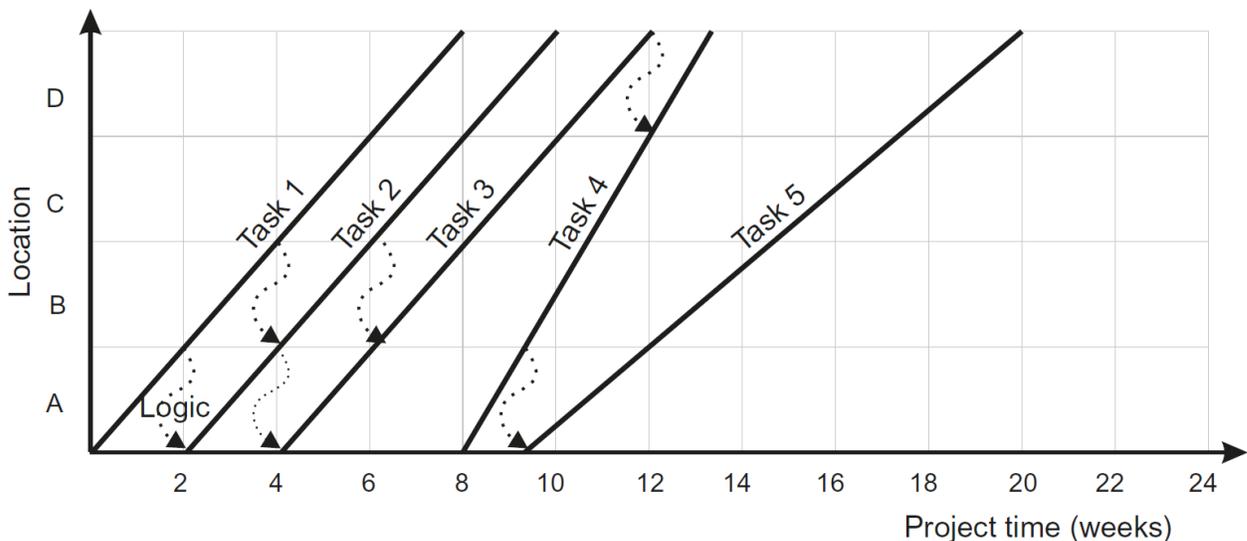


Ilustración 2.6: Ejemplo de líneas de flujo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 72)

2.2.4. Location-Based Management System

Location-Based Management System, comúnmente abreviado como LBMS por sus siglas, es un sistema de gestión que integra componentes de planificación y control, involucrando potencialmente todas las etapas de la construcción. Su desarrollo data de la década de 1980 en Finlandia, donde los métodos de planificación basada en la ubicación fueron adaptados a la industria de la construcción por profesores de la Universidad de Helsinki (Seppänen & Aalto, A Case Study of Line-of-Balance Based Schedule Planning and Control System, 2005). La gran característica que diferencia al sistema y que une todos estos componentes es el uso de ubicaciones como la base sobre la cual se fundamenta todo el sistema. El uso del sistema permite reducir pérdidas de tiempo y de materiales, lo que

a su vez implica una reducción en los costos debido a errores en el diseño, una mejora en el desempeño de los contratistas, una reducción de los riesgos asociados a la entrega del proyecto y un aumento en la calidad de este si se usa de manera consistente (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 387).

El sistema LBMS está fundamentado filosóficamente en los principios Lean, comenzando por el de *Valor*, que implica que las necesidades del cliente son cumplidas dentro de un precio y tiempo determinados. LBMS está diseñado para satisfacer estas necesidades con un riesgo minimizado. En cuanto a la *Cadena de Valor*, que incluye todos los aspectos necesarios para entregar el producto a través del diseño y del manejo de información, LBMS permite mejorar dicho diseño y la logística mediante el uso de ubicaciones. El *Flujo de Valor* continuo se obtiene mediante el aseguramiento de que el trabajo fluya por las distintas ubicaciones de manera secuencial y sistemática. Para la *Producción Pull*, en la que es el usuario final quien “tira” la producción para que esta se acomode a sus necesidades, LBMS permite que sean las distintas ubicaciones las que tiren los recursos disponibles, ya que todas son distintas y pueden solicitar dichos recursos de acuerdo a sus necesidades particulares. Finalmente, para la búsqueda de la *Excelencia*, todos los principios anteriores interactúan en un círculo virtuoso que permite que los resultados finales en la obra se aproximen a la perfección (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 390).

El sistema tiene dos partes principales, un sistema de planificación y otro de control, por lo que afecta a todas las etapas de la construcción, desde el diseño hasta el fin de esta (Seppänen, Evinger, & Mouflard, 2014). Divide el proyecto en sus distintas ubicaciones, estableciendo una estructura de desglose de ubicaciones, conocida como LBS por sus siglas en inglés, *Location Breakdown Structure*. Esta estructura debe ser establecida de manera jerárquica, y forma la base para la planificación y el control (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 392). De esta manera difiere del método de líneas de flujo, ya que este último requiere ubicaciones de tamaño similar.

Los beneficios que entrega el uso de este método son variados, e incluyen: (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 389)

- *Dar continuidad al flujo de trabajo de acuerdo con las restricciones del proyecto*
- *Asignar descansos planificados o múltiples cuadrillas para alcanzar los objetivos*
- *Ajustar productividad para alcanzar producción rítmica*
- *Permitir buffers de tiempo entre tareas*
- *Reducir la interferencia entre distintas tareas*
- *Evitar tiempos muertos y esperas*
- *Prevenir encadenamiento de retrasos*
- *Dar plena confianza en el plan, especialmente a los contratistas*
- *Permitir flexibilidad y adaptabilidad*

LBMS simula una línea de montaje para producción, adaptándola a la construcción. Esto se traduce en que, en lugar de ir la unidad de producción moviéndose a través de los trabajadores y maquinarias, son estos últimos los que se mueven por las distintas ubicaciones, realizando sus respectivas labores. Así, el flujo de trabajo avanza continuamente a través de cada ubicación, avanzando a la siguiente cuando todos los prerrequisitos estén completados. La secuencia dentro de cada tarea queda definida por la lógica interna de la misma, ya que el completar una ubicación libera trabajo para la siguiente.

El uso de software fue durante bastante tiempo una limitante de LBMS que lo dejaba en una gran desventaja al compararlo con CPM, pero eso ya no es un problema. Actualmente existe software especializado para el uso del sistema, siendo el principal de estos *Vico Office*, el cual además permite una integración total con el sistema BIM, ya que permite importar los modelos de los programas de BIM más utilizados en el mercado como lo son *Revit* y *Tekla*. Esto permite que prácticamente todas las etapas puedan ser apoyadas por programas computacionales, desde el modelamiento, pasando por la estimación de cantidades y la planificación y llegando hasta el control y la generación de reportes (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 390).

La principal literatura que existe al respecto es el libro “Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control”, por Russell Kenley y Olli Seppänen, en donde se describe al método separándolo en ocho componentes distintos: (1) estructura de desglose de ubicaciones, (2) cantidades basadas en ubicaciones, (3) estimaciones basadas en ubicaciones, (4) planificación basada en ubicaciones, (5) control basado en ubicaciones, (6) presentación de reportes basados en ubicaciones, (7) gestión de calidad basada en ubicaciones y (8) control financiero basado en ubicaciones, los que serán explicados a continuación.

2.2.4.1. Estructura de desglose de ubicaciones (LBS)

El primer paso para utilizar el sistema LBMS es definir la estructura de desglose de ubicaciones, LBS, que corresponde a la base del sistema, ya que es esta la que contiene las diferentes ubicaciones a utilizar para todas las demás partes. El desglose debe ser jerárquico, es decir, que un nivel superior debe contener todas las ubicaciones correspondientes a los niveles que estén por debajo suyo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 392). Cada uno de los niveles de jerarquía tiene una función diferente. En general, los niveles más altos son utilizados para optimizar la secuencia de construcción, los niveles intermedios para planificar el flujo de producción de la estructura, y los niveles inferiores para planificar las terminaciones y los detalles.

La recomendación general para definir estos niveles de jerarquía en proyectos comerciales es:

- El nivel superior debe consistir en ubicaciones en las que sea posible construir la estructura de manera independiente de otras secciones.
- Los niveles intermedios deben permitir que el flujo de trabajo sea planificado a través de ellos.
- El nivel inferior debe ser pequeño, lo suficiente como para que, en general, sólo una tarea se pueda realizar de manera eficiente a la vez.

Un ejemplo de la LBS aplicado a la construcción de un conjunto de edificios se muestra a continuación. En la Ilustración 2.7 se pueden ver los dos niveles superiores, en donde se separan los edificios en secciones, y a su vez cada sección en subsecciones. Luego, en la Ilustración 2.8 se puede ver como cada subsección está a su vez dividida en los distintos pisos que componen el edificio, siendo estos el nivel intermedio, y finalmente cada piso se encuentra subdividido en los apartamentos presentes en este, con eso como el nivel inferior. Este es un ejemplo que muestra perfectamente que el desglose se puede y debe realizar tanto de manera horizontal como vertical para obtener una LBS efectiva, lo que tendrá importantes repercusiones en el resto de la planificación y del control (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 204).

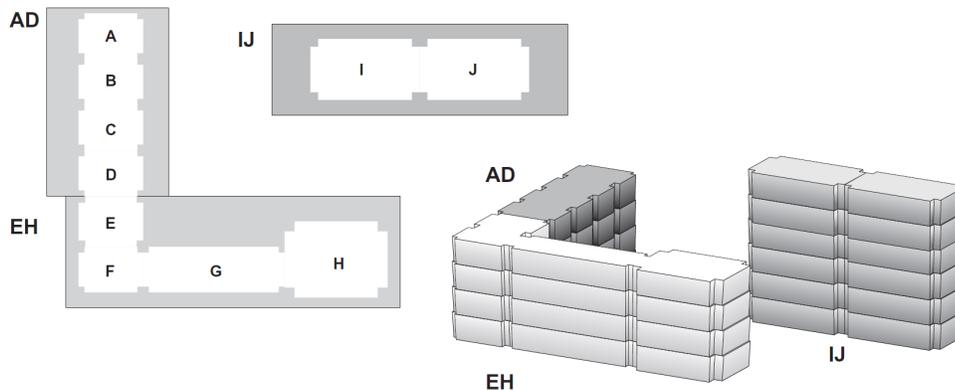


Ilustración 2.7: Niveles de jerarquía (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 126)

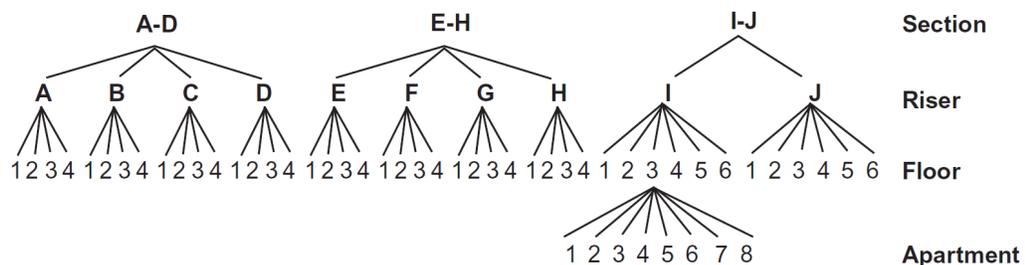


Ilustración 2.8: Diagrama de la LBS (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 126)

2.2.4.2. Cantidades basadas en ubicaciones

Una vez definidas las ubicaciones mediante la LBS, el siguiente paso es obtener las cantidades de acuerdo a cada ubicación lo que se conoce como cuenta de cantidades, BOQ por sus siglas en inglés (*Bill Of Quantities*). Estas cantidades juegan un rol muy importante en el proceso de planificación, ya que son las que mueven el proceso de producción y determinan la cantidad de trabajo a realizar en cada ubicación (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 393).

Las cantidades se dividen en paquetes por ubicación, definiendo estas la cantidad de trabajo que se debe completar en cada lugar para poder dar dicho lugar como terminado y así permitir que los trabajadores avancen al siguiente. Al definir estos paquetes es necesario asegurar que se esté asignando la suficiente fuerza de trabajo a cada tarea, y que todas las tareas en una misma ubicación que pertenecen a una misma cuadrilla se encuentren en el mismo paquete.

Existen dos grandes métodos para extraer las cantidades. Primero, se puede hacer de manera manual, estimando las cantidades de acuerdo con distintos métodos. Esto resulta en un nivel de precisión menor que el entregado por el otro método, el automatizado, que consiste en obtener las cantidades directamente desde un modelo 3D del proyecto, usualmente utilizando el software *Vico Office* para esto. Este es el método preferido ya que, por un lado, ahorra mucho tiempo de trabajo en estimaciones, y por otro entrega un resultado más preciso y que permite ir monitoreando más fácilmente las variaciones en las cantidades durante el proceso de construcción.

2.2.4.3. Estimaciones basadas en ubicaciones

El tercer componente del sistema es la estimación de costos. Una vez extraídas las cantidades para cada ubicación, se procede a estimar los costos de estas. Para esto, se combinan estas cantidades con información conocida sobre las distintas tareas y así se pueden obtener los costos de manera rápida y directa, lo que facilita encontrar errores en precios (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 394). Es importante notar que se deben incluir todos los costos asociados a la construcción, incluyendo los costos de planificación, mano de obra y materiales.

Estas estimaciones pueden ser realizadas con el programa *Vico Office*, y resultan una herramienta poderosa a la hora de la planificación y el control, ya que se tienen los costos asociados a cada ubicación y nivel de jerarquía de la LBS.

2.2.4.4. Planificación basada en ubicaciones

El siguiente paso corresponde a uno de los grandes pilares del sistema, la planificación. Esta busca crear un plan de trabajo que permita que el trabajo fluya por las ubicaciones de manera continua, generando un plan eficiente, realizable y sostenible de

LBMS implementa la lógica de CPM para unir tareas y actividades. De hecho, se requiere que cinco capas de lógica CPM sean aplicadas al nivel de actividades, las cuales son:

- Relaciones lógicas externas entre actividades dentro de ubicaciones
- Relaciones lógicas externas de alto nivel entre actividades impulsadas por diferentes niveles de precisión
- Lógica interna entre actividades dentro de tareas
- Lógica híbrida escalonada entre tareas en ubicaciones relacionadas
- Relaciones lógicas estándar entre tareas y ubicaciones diferentes

Esta planificación implementa además retrasos y desfases, que corresponden a duraciones fijas que determinan el tiempo entre tareas, y junto con estos se aplican búferes, tanto de tiempo como de ubicación, que corresponden a desfases cuya función es proteger al plan ante variaciones menores en la producción, las que son prácticamente inevitables (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 396). La planificación tiene muchos puntos a considerar, comenzando por la planificación detallada de las tareas y actividades a realizar, y por la planificación de las tareas que deben ser realizadas de manera cíclica a lo largo de la estructura.

Luego se deben asignar los recursos, es decir, asignar las cuadrillas para obtener un plan que se asemeje lo más posible al ciclo de construcción óptimo, acelerando o ralentizando tareas según sea necesario. Además, es importante tomar en cuenta el efecto que tiene el aprendizaje en la producción, ya sea mediante la aplicación de un factor de aprendizaje que vaya reduciendo el consumo de las tareas progresivamente, o mediante un factor de dificultad aplicado a las primeras ubicaciones (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 397).

Es importante utilizar las estimaciones de costos ya obtenidas, ya que al estar estas basadas en las ubicaciones de la LBS es posible cargarlas al plan, lo que permite a este último ayudar en el cálculo del tiempo de realización de pagos y del valor ganado. Los costos deben incluir los gastos reales, tomando en cuenta las pérdidas por tiempos de espera, movilizaciones, recepción de materiales, entre otros (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 398).

Uno de los factores más importantes a la hora de la planificación es el manejo del riesgo, ya que existen muchos factores que provocan incertidumbres a la producción, como lo son el clima, la productividad, la disponibilidad de recursos, la calidad, entre muchos otros. Estas incertidumbres deben ser tomadas en cuenta, ya que de lo contrario es muy probable que eventualmente alguno de los riesgos genere retrasos, lo que causará que no sea posible seguir el plan, requiriendo estas modificaciones constantes. Es por esto que se recomienda manejar e idealmente simular estos riesgos e incertidumbres, asignando búferes razonables entre tareas para controlarlos, ya que un plan algo más lento

pero más confiable resulta superior a uno con una duración menor pero que no entregue las garantías necesarias (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 401).

No se puede olvidar la logística de la entrega, manejo y almacenamiento de materiales y herramientas dentro de la obra, ya que estos son los que permiten que se pueda realizar el trabajo. Al utilizar ubicaciones se puede tener un plan de logística muy detallado, ya que se tienen las cantidades necesarias en cada ubicación, lo que posibilita el adquirir, almacenar y entregar materiales de manera mucho más optimizada, entregándolos sólo cuando estos vayan a ser usados, siguiendo el principio Lean *just-in-time*.

Finalmente, una gran ventaja de la planificación basada en ubicaciones es el uso de plantillas, ya que, si bien no existe ningún proyecto igual a otro, en general hay grandes similitudes entre ellos, principalmente los componentes y relaciones lógicas de muchas tareas. Ya que se utilizan tareas compuestas en lugar de actividades individuales como unidad de control, se tienen muchos menos ítems de control, lo que además contienen relaciones lógicas que mayoritariamente se conservan, por lo que es posible utilizar plantillas previamente generadas como punto de partida para un nuevo proyecto, lo que reduce considerablemente el tiempo de planificación.

2.2.4.5. Control basado en ubicaciones

En este punto se espera que se tenga un plan eficiente y que logre balancear tiempo y riesgo, pero no basta con tener un buen plan si el cumplimiento de este no se puede controlar adecuadamente, ya que en la práctica siempre se tendrán desviaciones. Es aquí donde entra el control basado en ubicaciones, el otro gran pilar del sistema LBMS, cuyo principal objetivo es generar alarmas tempranas ante desviaciones en la producción, lo que permite a la administración responder a tiempo para solucionar estos problemas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 402).

Desde el inicio de los métodos de planificación y control basados en actividades, se consideró que el plan debe ser la base para la administración del proyecto y que sólo se debe intervenir cuando existan desviaciones de este (Kelley & Walker, 1959). Este paradigma sigue siendo verdadero hasta el día de hoy, pero lo que sí ha cambiado son los métodos utilizados para llevar a cabo dicho control y, por consiguiente, la información entregada por estos, ya que el método CPM usualmente entrega información poco detallada y de manera muy tardía, lo que limita severamente la capacidad de actuar. Aquí es donde entra la planificación basada en ubicaciones, que permite generar respuestas a tiempo a través de la visualización de cualquier problema antes de que estos ocurran, utilizando pronósticos para recordar constantemente a la administración que existe un problema sin resolver. Esta capacidad de reaccionar y solucionar adelantadamente los problemas que puedan ir surgiendo permite hacer compromisos con los contratistas, brindándoles confianza en la productividad y la predictibilidad del plan (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 402). Ejemplos de problemas que el control permite detectar anticipadamente son cambios en las cantidades, retrasos al iniciar tareas, desviaciones de la productividad

planificada, discontinuidades en la secuencia de trabajo, cambios en los prerequisites de producción, entre otros.

Este sistema de control se subdivide en cuatro etapas de información de la producción, que son la línea de base, la actual, el progreso y el pronóstico. Además, se utilizan dos tipos de tareas para controlar la agenda en estas etapas, las tareas planificadas, que son aquellas que forman la línea de base, y las tareas de detalle o actuales, que son las que muestran el estado actual de las tareas planificadas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 403). En la Ilustración 2.10 se pueden ver graficadas las etapas, con la línea de base representada por la línea oscura, el progreso actual por la línea punteada y el pronóstico por la línea discontinua. Los círculos grises son alarmas que indican que existe un choque entre tareas.

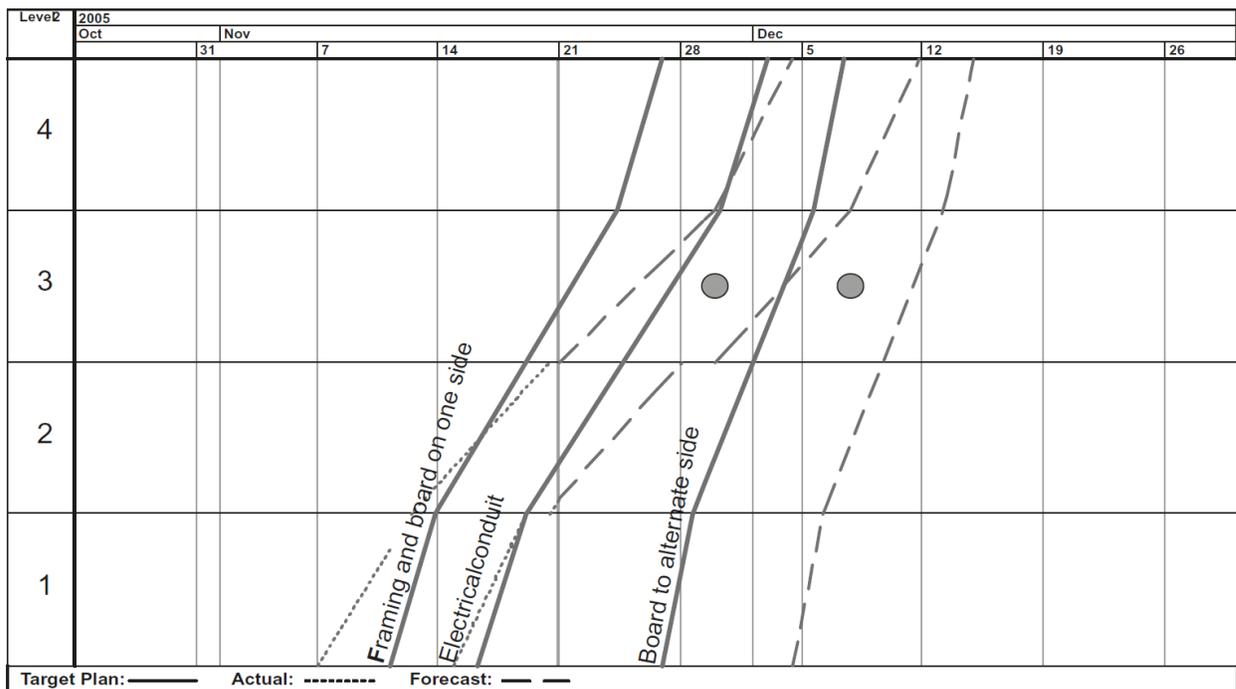


Ilustración 2.10: Etapas del control (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 282)

La línea de base provee el conjunto de información del proyecto a utilizar como fundación, en la forma del plan acordado para el proyecto, y es contra esta que se contrastará cualquier evaluación de desempeño posterior, funcionando de la misma forma que la línea de base en sistemas CPM. Así, esta no puede ser modificada nunca, salvo cuando se desea iniciar una nueva línea de base, lo que sólo debiera ocurrir si el proyecto sufre cambios considerables. Utiliza las cantidades basadas en ubicaciones ya calculadas y las tareas planificadas para definir el plan inicial, el cual puede ser utilizado para hacer compromisos con los contratistas, planificar contrataciones y para preparar la información de los hitos a considerar. Para que todo esto sea posible es imperativo que las fechas de inicio y término sean confiables con al menos una semana de precisión (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 403).

La etapa actual funciona de manera similar a la línea de base, pero considerando nueva información que no estaba presente cuando esta última fue producida, como información que haya cambiado o datos más detallados de la construcción, como podría ser información de la planificación *look-ahead*. El plan actual es modificado a medida que va surgiendo nueva información, la que puede incluir datos sobre disponibilidad de recursos, prerrequisitos, cambios en las cantidades o cambios de lógica entre tareas y actividades. Pese a los cambios, la información original queda guardada en la línea de base, la que condiciona las fechas de término en cada ubicación. Para controlar las desviaciones en la etapa actual se utilizan las cantidades actuales en conjunto con las tareas de detalle.

Durante la etapa de producción, la línea de base y la información actual son complementadas con información documentada durante la producción, lo que permite encontrar desviaciones en la producción. Se debe monitorear constantemente información sobre las cantidades y recursos utilizados, la duración de los turnos y los días libres, y las fechas reales de inicio y término de ubicaciones y tareas. Con esto es posible calcular el consumo de recursos y la tasa de producción reales.

La etapa de progreso monitorea el desempeño en el momento actual, por lo que registra información en las tareas de detalle. El progreso se mide registrando el inicio y término de cada actividad de detalle. Con esto, se pueden obtener las tasas de producción actuales para dichas tareas de detalle, y, en caso de tener datos sobre los recursos, también se pueden obtener sus consumos de recursos.

La última etapa corresponde al pronóstico, que utiliza la información de la etapa actual y de progreso para predecir el efecto total en cuanto a desviaciones y cambios en el plan, por lo que permite revelar problemas. El pronóstico asume que la producción continuará con la tasa de producción real en lugar de la planificada, al menos que acciones se tomen al respecto. Esto es debido a que sería impreciso pronosticar basándose en la productividad planificada si esta es distinta de la alcanzada actualmente. Ese pronóstico es lo que permite a los administradores reaccionar a tiempo ante los problemas para así poder entregar soluciones efectivas.

Es importante considerar que el pronóstico debe utilizar la mejor información disponible para poder entregar predicciones precisas, por lo que en las etapas tempranas del proyecto puede utilizar la productividad planificada originalmente, pero luego debe ser actualizado cuando surja nueva información, utilizando la tasa de producción actual.

Estas cuatro etapas se traducen en información completa, detallada y adelantada sobre eventuales problemas, pero esto no sirve de nada si no se toman acciones concretas para resolverlos. A estas acciones se les conoce como acciones de control, y corresponden a las medidas tomadas para evitar interferencias o prevenir retrasos en el proyecto. La cantidad de acciones de control posibles es usualmente más acotada que las disponibles durante la planificación, ya que las primeras deben ser implementadas en un futuro cercano. Es por esto que es importante considerar a las personas cercanas a la producción a

la hora de tomar estas decisiones, ya que se requiere que todos se comprometan. Es ideal llevar registro de todas las acciones de control tomadas, para así poder tener en consideración los problemas surgidos y cómo solucionarlos si vuelven a aparecer. Algunas de las posibles acciones de control son:

- Cambiar el número de recursos asociados a una tarea
- Cambiar la duración de los turnos o trabajar tiempo extra
- Cambiar la secuencia de ubicaciones
- Dividir una tarea
- Remover o intercambiar dependencia técnica
- Aumentar la productividad reduciendo las actividades que no aportan valor
- Cambiar la fecha de inicio de una tarea sucesora para hacerla continua

2.2.4.6. Presentación de reportes basados en ubicaciones

LBMS se encuentra fuertemente influenciado por técnicas gráficas de representación. Es por esto que, además de la tradicional carta Gantt, el sistema utiliza frecuentemente diagramas de líneas de flujo y tablas de control.

Las cartas Gantt adaptadas a LBMS no difieren mucho de su contraparte tradicional, siendo la única diferencia que las primeras toman en cuenta las distintas ubicaciones. Esto permite sintetizar ubicaciones en tareas, o inversamente expandir tareas en sus distintas ubicaciones (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 405). Una de estas cartas se puede apreciar en la Ilustración 2.11, en donde se tiene la columna izquierda indicando la jerarquía, y la segunda columna el nombre de las tareas. Una de las principales ventajas de esta carta es que genera menos resistencia al nuevo sistema en personas que se están iniciando en el sistema, ya que prácticamente todo trabajador ligado a construcción conoce las cartas Gantt tradicionales.

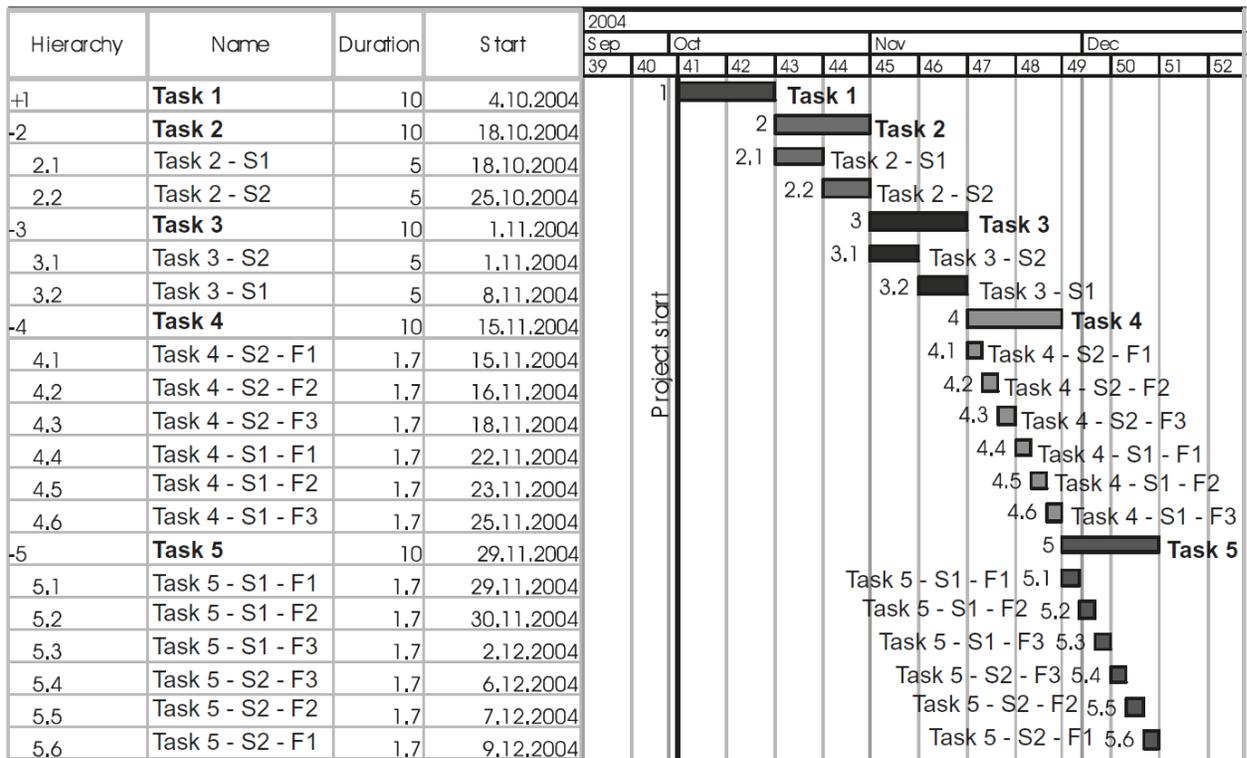


Ilustración 2.11: Carta Gantt basada en ubicaciones (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 140)

La principal vía de comunicación en LBMS es el gráfico de líneas de flujo, donde una simple mirada puede entregar una gran cantidad de información sobre el plan de trabajo, permitiendo a los usuarios más experimentados obtener gran cantidad de detalles sobre el método de construcción, lo que no es posible con una carta Gantt. Es especialmente efectivo en la fase de control, ya que se tiene en conjunto el plan original (línea de base), el historial de como se ha comportado el proyecto en la realidad (etapa actual) y las predicciones de cómo se comportará a futuro (pronóstico). Este gráfico se encuentra ejemplificado en la Ilustración 2.9.

La tabla de control es una herramienta muy efectiva en reuniones de obra, ya que es ideal para transmitir fechas, secuencias de trabajo y desempeño para tareas individuales. Así, los responsables de cada tarea pueden comparar las fechas planificadas con las reales para su tarea específica, y utilizando códigos de color se puede entregar rápidamente información sobre el estado del proyecto. Así, se puede evaluar y ver que tareas se están quedando atrás, exigiendo respuestas a los encargados. En la Ilustración 2.12 se tiene un ejemplo de estas tablas, donde el color verde indica tareas terminadas, el celeste indica tareas en proceso según lo programado, el amarillo tareas que se encuentran atrasadas, y el rojo tareas que comenzarán tarde.

Key The task has not begun The task is in progress Task completed There is no task for this position The task is in progress but running late The task has not begun, running late On time and paused Late and paused

Projekti	Section	Floor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OPUS 3	MOD 30-27	Roof											
		5											
		4											
		3											
		2											
		1											
		1											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		+ Structure mod 30-27	+ Concrete floor finishing work 1	+ Roofing	Building services corridor bulkheads	Wall frames and board on one side	Electrical piping of walls	Insulation wool and board on 2nd side	Plasterwork	Painting	Tiling work 1	Vinyl floor covering	

Ilustración 2.12: Ejemplo de tabla de control (Seppänen & Aalto, 2005)

2.2.4.7. Gestión de calidad basada en ubicaciones

Uno de los mayores desafíos al controlar un proyecto es el sistema de control de calidad. Esto no se refiere a la calidad deseada o solicitada para el proyecto, sino que al grado de concordancia entre la calidad especificada y la realmente conseguida. Los principales factores que afectan la calidad del proyecto son si los materiales son dañados y si el trabajo es realizado fuera de secuencia (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 406). Es por esto que es importante planificar de manera que se minimicen las probabilidades de que el trabajo sea realizado fuera de secuencia, y que cuando los trabajadores lleguen a una nueva ubicación encuentren todas las tareas predecesoras a la suya completas. Además de esto, es necesario ir realizando inspecciones para cerciorarse que no se está aceptando ningún trabajo que no cumpla con los estándares establecidos.

2.2.4.8. Control financiero basado en ubicaciones

El octavo y último componente de LBMS corresponde al control financiero basado en ubicaciones. El sistema LBMS tiene un enfoque distinto a los métodos más utilizados en la industria. Tradicionalmente se exige a los contratistas que deben terminar su trabajo en una fecha especificada, pero el cómo lo consigan es un tema que el mismo contratista debe ver. Esto implica que los contratistas no tienen motivación para mantener un ritmo de trabajo constante, y es común que comiencen más lento para luego acelerar al ver que están atrasados. El problema de esto es que las distintas tareas no están aisladas, y, por el

contrario, suelen estar íntegramente relacionadas unas con otras, por lo que el retraso de un contratista puede interferir con varios otros (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 407). Para evitar esto es que se plantea pagar a los contratistas en múltiples pagos pequeños, hechos a medida que se vayan completando ubicaciones de acuerdo con el plan. Así, una vez el trabajo esté completado y haya sido revisado será este pagado, siempre y cuando el contratista lo haya realizado en la secuencia correcta. Esto soluciona el problema actual de asignar valor al progreso en áreas grandes, ya que se requiere la finalización de ubicaciones más pequeñas.

Capítulo 3: Manual de Implementación

3.1. Introducción

En el siguiente capítulo se desarrolla un manual para poder implementar el sistema de planificación basado en ubicaciones LBMS, integrando a él el uso de medidas de prevención de COVID-19. Para esto, se considera el contexto de una primera implementación en una compañía sin experiencias previas en este tipo de planificación, lo que indudablemente complica la implementación, requiriendo adaptaciones para lograr acomodarse a las capacidades y necesidades de las empresas constructoras.

3.1.1. Formato del manual

El manual de implementación para LBMS se encuentra estructurado de la siguiente manera: comenzará con los antecedentes previos con los que se cuenta, luego se presentará la estructura de un buen sistema LBMS, posteriormente se detallará el paso a paso de la implementación, y se finalizará con los potenciales resultados que se podrían esperar de una realización correcta.

3.1.2. Antecedentes

Si bien el sistema LBMS fue desarrollado a fines de la década del 2000 por los profesores Russell Kenley y Olli Seppänen, este se basa fuertemente en varias metodologías de trabajo y planificación basadas en ubicaciones que datan de mucho antes. El primer gran ejemplo ocurre en la construcción del edificio Empire State en Nueva York en el año 1929, para luego continuar siendo desarrollado por la compañía Goodyear en la década de 1940 y por la armada de Estados Unidos en la de 1950. Sin embargo, y pese a que durante las décadas siguientes se realizó gran cantidad de investigación al respecto, fue poco adoptado por la construcción comercial, siendo ampliamente superado por el método CPM expuesto en la sección 2.2.1.

A fines de la década de los 90, y continuando con la investigación, algunos autores sugirieron el nombre de *método de planificación repetitiva*, pero luego se concluyó que el método está más relacionado al movimiento de recursos por distintas ubicaciones, y la repetición no es necesaria, por lo que finalmente el término *planificación basada en ubicaciones* fue acuñado en el año 2004. De ahí, y continuando con la investigación, se llegó finalmente a construir un sistema completo de planificación y gestión basado en ubicaciones, LBMS.

Sin embargo, pese a estos desarrollos antes mencionados, la planificación basada en ubicaciones es, a nivel global, muy poco utilizada, siendo el método CPM el predominante en casi todo el mundo. La gran excepción a esto es Finlandia, país de origen del sistema, donde LBMS es ampliamente utilizado por las compañías constructoras para planificar y controlar sus proyectos. Basándose en la experiencia finlandesa, la planificación basada en ubicaciones se ha ido expandiendo lentamente al resto del mundo, comenzando por los países nórdicos, vecinos de Finlandia, luego por Estados Unidos y China, y finalmente a gran parte del mundo, aunque en todos estos su uso sigue siendo muy reducido al compararlo con CPM.

Tomando esto en consideración, se tiene que existe una gran oportunidad para comenzar a implementar planificación basada en ubicaciones en el país, ya que en Chile el método CPM es por lejos el predominante. Una muy buena opción para empezar a utilizar planificación basada en ubicaciones son los proyectos de edificación en altura, ya que por la naturaleza de las estructuras el proceso de construcción tiende a ser repetitivo por pisos, lo que permitiría una implementación más simple y con resultados más visibles en el corto plazo. Por otro lado, la pandemia de COVID-19 actualmente en curso ha causado que todos deban tomar medidas de prevención para evitar al máximo posibles contagios, y esto incluye al rubro de la construcción. Tener un trabajador contagiado, sea quien sea, no sólo implica una potencial amenaza a su salud, sino que a la de todos los que conviven con él debido a la gran capacidad de transmisión del virus. Incluso viéndolo desde un punto de vista económico, un contagiado que cause un brote en una empresa generará grandes problemas, ya que todos los implicados deberán pasar por lo menos dos semanas sin trabajar, lo que implicaría un gran número de problemas y retrasos. De estas dos situaciones surge la oportunidad de investigar la integración de protocolos sanitarios para prevenir el COVID-19 en una implementación de planificación basada en ubicaciones, tomando en cuenta la potencial sinergia que podría existir entre ambos, considerando que el realizar la planificación basada en ubicaciones podría facilitar la aplicación de las medidas preventivas.

3.2. Implementación de LBMS

Ya habiendo terminado con los temas introductorios, se procede al cómo realizar una implementación de LBMS. Como ya se mencionó anteriormente, se considera el contexto de escaso o nulo conocimiento en las empresas constructoras sobre planificación basada en ubicaciones, y la dificultad que implicaría una implementación completa. Es por esto que se decide realizar la implementación de las partes fundamentales del método LBMS, dejando afuera otras que no son necesarias y que no traen consigo los mayores beneficios.

3.2.1. Estructura del LBMS

Si bien el método es completo y está ideado para funcionar como un todo, no es necesario implementarlo completamente ni tampoco de lleno, especialmente si es la primera vez que se realizará dicha implementación. La implementación práctica se puede realizar de una manera simplificada en donde todos los temas técnicos y teóricos quedan a cargo del planificador, ya que la gran mayoría de los trabajadores no necesitan conocimientos profundos sobre el funcionamiento del método, y basta con que comprendan bien los nuevos reportes que se utilizarán. Además, como ya se mencionó anteriormente, no es necesario implementar todos los componentes de este, por lo que se decide seleccionar los que se utilizarán, para lo que se construye una matriz de comparación que busca contrastar, por un lado, los componentes de LBMS, y por otro las diversas ventajas y beneficios que este sistema podría entregar. Con esto se logra visualizar directamente cuales de los componentes entregan la mayor cantidad de ventajas, y también que componentes entregan las ventajas consideradas más relevantes. El detalle de este proceso se encuentra en el anexo A.1, siendo la matriz la que se puede ver en la Tabla A.1.

De la matriz de comparación se concluye que tanto planificación como control son los dos componentes más importantes del sistema en términos de beneficios entregados, por lo que estos serán incluidos en la implementación, lo que es acorde a lo esperado, ya que ambos componentes son considerados como los dos pilares del sistema. Por otro lado, la LBS también debe ser implementada porque, pese a no entregar muchos beneficios en sí, es completamente fundamental y necesario para la aplicación de los otros dos antes mencionados. Finalmente, y aunque tampoco entregan muchas ventajas, los reportes basados en ubicaciones son parte de lograr un correcto control del proyecto, además de no requerir necesariamente software especializado para ser producidos, ni tampoco de conocimientos teóricos por parte de todo el equipo para ser interpretados.

La matriz también muestra que cantidades, estimaciones y gestión de calidad basada en ubicaciones no entregan una gran cantidad de beneficios. Si bien es cierto que la primera efectivamente entrega más beneficios que las dos siguientes, para lograr implementar las cantidades basadas en ubicaciones de manera eficiente se requiere que el proyecto cuente con un modelo BIM que tenga cuantificadas correctamente dichas cantidades, lo que no se tendrá en todos los casos. Por último, el control financiero entrega un número prometedor de beneficios, pero su aplicación requiere cambiar la manera en la que se paga a los contratistas, lo que implicaría cambiar las relaciones contractuales con ellos, por lo que se decide no incluirlo, considerando que las complicaciones que implica no compensan las ventajas entregadas.

3.2.2. Consideraciones previas

Antes de comenzar la implementación, se debe tomar en cuenta que en el rubro de la construcción se tienen diversos actores, los cuales deben actuar conjuntamente para lograr llevar a cabo un proyecto correctamente. Esto significa que todos estos actores también deben trabajar en equipo si se quiere implementar un método de planificación como LBMS, lo que implica que si alguno de estos no es capaz de adaptarse a los cambios la implementación probablemente fallará, y es debido a esto que se debe comenzar analizando si se está preparado como organización para llevar a cabo la implementación. Se debe tener claro que es mucho más probable que una primera implementación termine fracasando en lugar de terminar con un resultado positivo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 409).

El principal problema enfrentado es la resistencia al cambio en miembros del equipo, ya que la gran mayoría ha realizado proyectos de la manera tradicional por muchos años, lo que causa que, incluso si están dispuestos a realizar el cambio, tengan muchas prácticas y creencias que deberán ser modificadas para así lograr un enfoque Lean. Además de esto, se deberán sortear problemas prácticos, principalmente relacionados a la recolección y uso de la nueva información requerida, lo que incluye la compra y capacitación para utilizar nuevo software, el levantamiento de información nueva y la necesidad de enseñar a todos los miembros a interpretar y a trabajar con los nuevos reportes y predicciones. Ante esta problemática es fundamental tener fuerte apoyo de la jefatura del proyecto, debido a que es probable que aparezcan ciertas ocasiones en las que sea necesario que la gerencia tenga que intervenir para asegurar que los equipos de trabajo estén alineados en sus objetivos y metas.

Como en cualquier otro caso, la adopción de técnicas de planificación basadas en ubicaciones requiere de bastante tiempo para llevarse a cabo, especialmente si se busca lograr una adopción masificada. Además, debido a las complicaciones antes mencionadas, es muy recomendable que, si una empresa quiere comenzar a implementar este método, lo haga primero con sólo uno de sus proyectos para así poder enfatizar los esfuerzos y monitorear de manera óptima la implementación, lo que aumenta considerablemente las probabilidades de éxito. Siempre es mejor comenzar con una implementación acotada pero profunda que con una amplia pero superficial (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 412).

Al igual que cualquier herramienta y método de planificación y control modernos, LBMS requiere necesariamente el uso de software para hacer factible su implementación en cualquier proyecto comercial, porque incluso los más pequeños poseen una envergadura suficiente como para que cualquier método manual no sea factible. Aquí es donde se tiene un problema inicial, ya que, si bien existe software especializado para LBMS (*Vico Office*), prácticamente ninguna empresa en Chile lo poseerá, lo que complica bastante las cosas debido a que el enfrentar los costos de adquisición junto con los de capacitación de los trabajadores desincentiva enormemente a cualquiera que esté considerando el

implementar métodos de planificación basados en ubicaciones. Ante esta problemática, se optó por utilizar en la implementación software que ya sea utilizado y manejado por la gran mayoría de constructoras, *Project* y *Excel*.

3.2.3. Levantamiento de información

Antes de comenzar el desarrollo de LBMS en sí, es imperioso levantar información sobre el proyecto y sobre los equipos de trabajo que se encargarán de realizarlo, ya que esta información será utilizada más adelante para tomar todas las decisiones necesarias al momento de la implementación. Lo primero que se debe obtener son las distintas fases del proyecto a realizar, como lo son la obra gruesa y las terminaciones, entre otras. Una vez obtenida esto, y en base a las fases determinadas anteriormente, se deben identificar las actividades críticas de la secuencia constructiva, las cuales serán utilizadas para la planificación y el control.

Junto con esto, es necesario identificar los rendimientos históricos para todas las actividades identificadas en la secuencia constructiva en base a experiencias previas o a proyectos similares. Esta estimación se debe realizar de la manera más precisa posible, ya que si es equivocada causará que toda la planificación posterior sea imprecisa. El mismo proceso se debe realizar para los tamaños de cuadrillas, teniendo las mismas consideraciones y cuidados que en el caso anterior. Es también beneficioso el conocer todas las prácticas en términos de metodologías de planificación que la empresa utiliza, como el sistema del último planificador, LPS por sus siglas *Last Planner System*.

Por otro lado, es necesario conocer al equipo con el que se trabajará, ya que hay mucha información sobre estas personas que será muy útil a la hora de realizar la implementación, no se debe olvidar que la correcta gestión del personal es una de las aristas fundamentales de la labor. Probablemente la información más relevante que se debe obtener es cuánta y qué tipo de experiencia y conocimientos tiene cada miembro del equipo de trabajo en cuanto a metodologías de planificación basada en ubicaciones, ya que cualquier miembro que maneje previamente el tema puede ser una ayuda muy importante, especialmente como nexo entre los implementadores y el resto del equipo. También es imperante conocer y familiarizarse con la metodología de planificación de control que utilizan actualmente, cuántas y de qué tipo son las reuniones de planificación que sostienen, quiénes son los que entregan información en dichas reuniones, qué tipo de información es compartida ahí, entre otros. Además de esto, es muy positivo conocer las opiniones de cada miembro del equipo sobre varios temas referentes al proyecto y al grupo de trabajo, ya que de estas opiniones es posible inferir varias problemáticas a afrontar a futuro, lo que permite anticiparse a los problemas que puedan surgir después.

En el 0 se tiene un ejemplo de entrevistas reales realizadas a un equipo de trabajo, las cuales ejemplifican la información que se podría obtener al realizarlas.

3.2.4. Creación de la LBS

LBS son las siglas de *Location Breakdown Structure*, estructura de desglose de ubicaciones en español, y corresponde a la primera parte del sistema que se debe trabajar. Corresponde a, en palabras generales, una estructura jerárquica que contiene todas las distintas ubicaciones que se utilizarán para la planificación y el control. Como es la base de todo lo que se realizará posteriormente su importancia es tremenda, ya que la manera de distribuir y dividir el proyecto en ubicaciones más pequeñas marcará todo el trabajo posterior, y si no se hace de manera correcta complicará todo el resto del proceso (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 204).

Se debe recordar que la LBS es jerárquica, por lo que se debe dividir el proyecto en varios niveles de jerarquía, no tan solo por pisos o casas en caso de proyectos residenciales. Por ejemplo, en un proyecto inmobiliario de varias torres de edificios, el primer nivel de jerarquía podría ser cada edificio, luego cada piso, y finalmente cada departamento. Es importante que estas divisiones no sean arbitrarias, sino que se designen áreas que tengan volumen y dificultad similar entre ellas, y que cada división tenga sentido en cuanto a efectivamente ser útil a la hora de planificar y controlar, por lo que es importante considerar la secuencia constructiva al momento de sectorizar, mientras mejor se adapten las diferentes sectorizaciones al método constructivo que se desea realizar, mejor será la capacidad de planificar y controlar la construcción en el futuro. Para esta decisión también se debe considerar la factibilidad de controlarlas en obra, y por esto es recomendable tomar en cuenta la opinión de los miembros del equipo que se encargan de dirigir y controlar el trabajo en terreno. Una consideración importante para tener en cuenta es que no es imperioso tener sólo una división específica en cada nivel de jerarquía, por el contrario, puede resultar muy útil tener “ramas” de la LBS en algún nivel dado, es decir, dos maneras distintas de dividir las mismas ubicaciones (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 208). Un ejemplo común basado en el anteriormente entregado es que el tercer nivel de jerarquía, el de departamentos, resulta útil a la hora de planificar todo lo referente a terminaciones, pero resulta contraproducente para la realización de la obra gruesa debido al método de armado, alzaprimado y hormigonado. Así mismo, el nivel anterior de pisos resulta demasiado amplio, por lo que sería ventajoso el crear una nueva rama del tercer nivel que, en lugar de departamentos, separe cada piso en secciones más grandes, de acuerdo con cómo se pretenda realizar la obra gruesa en dicho proyecto. Este caso se ve ejemplificado en la Ilustración 3.1, donde se tienen tres alternativas diferentes de dividir cada piso en dos ramas distintas, una para la estructura y otra para las terminaciones.

Building	Floors	Function	Zone/ pour	
Building 1	2	Structure	Pour 2	
			Pour 1	
		Finishes	Area B	
			Area A	
	1	Structure	Pour 2	
			Pour 1	
		Finishes	Area B	
			Area A	

1

Building	Function	Floor	Zone/ pour	
Building 1	Finishes	2	Area B	
			Area A	
		1	Area B	
			Area A	
	Structure	2	Pour B	
			Pour A	
		1	Pour B	
			Pour A	

2

Building	Floors	Pour	Zone	
Building 1	2	Pour 2	Area B	
			Area A	
		Pour 1	Area B	
			Area A	
	1	Pour 2	Area B	
			Area A	
		Pour 1	Area B	
			Area A	

3

Ilustración 3.1: Ejemplo de ramas en la LBS (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 208)

Es importante establecer una nomenclatura clara para las ubicaciones, que sea simple para utilizar en terreno sin llevar a los trabajadores a confusiones. Se recomienda utilizar letras o números en conjunto con un código de colores, ya que esto facilita la visibilidad de las ubicaciones en terreno. Junto con esto, es importante señalar y delimitar con claridad las diversas áreas en obra, para facilitar el trabajo y minimizar errores y confusiones. Resulta fundamental el transmitir correctamente la información de la planificación a los trabajadores, ya que si estos no la reciben de manera correcta todo el trabajo realizado previamente no servirá. Un ejemplo de esto se presenta en la Ilustración 3.2, la que muestra la sectorización de la planta de un edificio, dividiéndolo claramente en 5 áreas diferentes, cada una con su letra y color asociados que permiten una fácil interpretación del plano. Utilizando una imagen como esta, junto con la correcta señalización en cada piso para marcar las distintas áreas es posible tener una mejor gestión del trabajo.

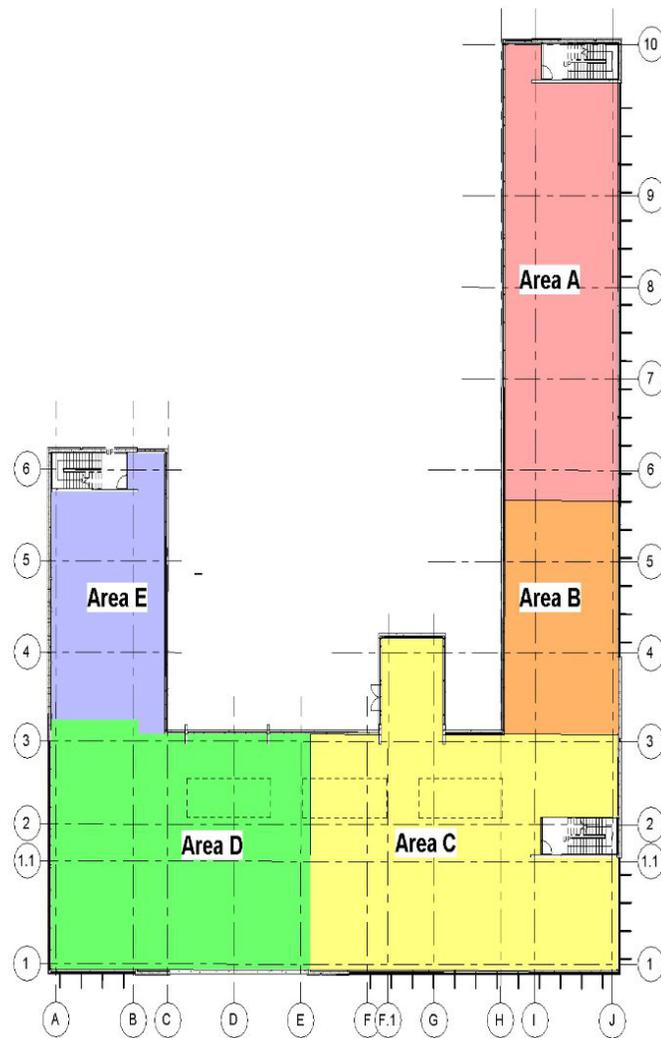


Ilustración 3.2: Ejemplo de sectorización de un edificio (GEPRO, 2021)

3.2.5. Planificación basada en ubicaciones

Una vez terminado el proceso de designación de la LBS, se debe proceder a la planificación del proyecto. El primer paso en esta planificación es la definición de la secuencia de trabajo que se debe realizar, estando esta compuesta por distintas tareas que deben ser realizadas. Para esto es fundamental el conocer y tener planificada la secuencia constructiva que se desea llevar a cabo, ya que lógicamente esto será lo que dicte qué tareas deben realizarse y cómo están relacionadas estas entre ellas. Es importante tomar en cuenta que cada tarea está compuesta por una variedad de distintas actividades, y que estas deben requerir habilidades similares para realizarse, usualmente siendo realizadas por la misma cuadrilla o por el mismo contratista, ya que de lo contrario existirían demoras y tiempos muertos dentro de la misma tarea, los cuales serían imposibles de cuantificar ni planificar, perjudicando la efectividad del plan (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 216). Se debe entender que estas tareas también se encuentran basadas en ubicaciones, en el

sentido de que no existen de manera separada para cada piso o sector como en la planificación tradicional, sino que es una misma tarea la que se va “moviendo” por las distintas ubicaciones del proyecto a medida que se van completando las anteriores. Así, se crea un flujo de trabajo que va avanzando de manera continua por los distintos sectores diferenciados en la LBS, y es en esa continuidad del trabajo donde se encuentra la mayor fortaleza del sistema.

La escala de cada tarea debe ser razonable en cuanto permita planificar de manera suficientemente precisa sin caer en exageraciones. Por ejemplo, actividades auxiliares como el acarreo de materiales o el taladrado de agujeros no necesitan ser puestas por separado, sino que están mejor siendo incluidas dentro de tareas más amplias, ya que no ayuda el planificar a un nivel tan específico. Una excepción a esta directriz es si algunas actividades tienen dependencias externas con otras tareas distintas a las que tienen las que se encuentran dentro de la tarea donde se les quiere agrupar, ya que esto causaría que, o se limiten de manera innecesaria el resto de tareas, retrasando el proyecto, o se ignoren algunas limitaciones por choques entre tareas, lo que eventualmente causará problemas en la etapa de construcción.

Hay que tomar en cuenta que suele ser conveniente diferenciar las tareas según las fases del proyecto, como lo son obra gruesa, terminaciones y fachada, ya que es esperable que utilicen niveles distintos dentro de la LBS, por lo que planificarlas todas juntas resulta contraproducente e incómodo.

3.2.5.1. Obtención de recursos y cantidades

Una vez realizada la secuencia de trabajo, se debe proceder a obtener los recursos y las cantidades de trabajo a realizar. Ya que no se trabajará con las cantidades físicas de trabajo a realizar (por ejemplo: metros cúbicos de hormigón, metros cuadrados de pintura, etc.), se utilizará el método tradicional, que consiste en planificar las tareas en alguna unidad de tiempo, comúnmente días, estimando estas duraciones para cada ubicación utilizando como base los datos obtenidos como rendimientos históricos en el levantamiento de información. Así, se pueden simular las cantidades basadas en ubicaciones, sólo que estas se encontraran en días, e incluso es posible ir en mayor detalle en cuanto a tiempo, por ejemplo, asignando medios días de trabajo por departamento en lugar de un día completo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 416).

3.2.5.2. Obtención de tasas de producción

Lo siguiente a dilucidar son las tasas de producción para todas las distintas tareas, es decir, la velocidad con la que se puede ir completando el trabajo de una tarea dada. Es importante notar que no se corresponde directamente con las productividades estimadas de los datos históricos de proyectos anteriores durante el levantamiento de información, ya que estos datos son promedios que incluyen retrasos y pérdidas por falta de materiales, choque entre tareas, falta de espacio, etc. El ideal a la hora de planificar sería utilizar las

tasas de productividad óptimas, es decir, las alcanzables cuando todos estos problemas anteriormente mencionados desaparecen y se puede tener a las cuadrillas trabajando sin ningún retraso por periodos largos de tiempo, y velar durante el control que efectivamente estas condiciones se cumplan para que se puedan alcanzar dichas productividades en la práctica. Sin embargo, se debe ser cuidadoso con no sobreestimar la capacidad de la gestión para permitir estas condiciones ideales, especialmente en las primeras implementaciones, ya que al no tener un equipo de trabajo experimentado es casi imposible conseguirlas, y el planificar con productividades inalcanzables creará un plan demasiado ambicioso que será imposible de traspasar a la realidad (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 218).

3.2.5.3. Obtención de cuadrillas óptimas

Con las tasas de productividad definidas, se deben definir las cuadrillas óptimas en base al tipo de trabajo de cada tarea. Esto puede resultar algo complejo, porque usualmente no se puede simplemente aplicar el mismo criterio a todas las tareas, sino que deben ser tratadas de manera individual. Para esto, se puede utilizar como base la información recopilada sobre tamaños de cuadrillas históricos y sobre los rendimientos históricos para cada actividad, pero al ser las tareas agrupaciones de actividades, probablemente sea necesario evaluar cuáles son los miembros que definen el tamaño de cuadrilla y qué recursos incluir en estas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 219).

Ahora que se tienen todos los “datos” necesarios, se procede a lo que sería efectivamente la planificación, es decir, la alineación de las distintas tareas para crear un plan optimizado. Se debe comenzar con un plan que contenga sólo una cuadrilla óptima en cada tarea y con todas las tareas continuas, unidas entre sí por las distintas relaciones lógicas ya definidas. Esto generará un plan desbalanceado, ya que habrán algunas tareas que se realicen de manera más rápida que otras. La alineación que se debe realizar consiste, grosso modo, en modificar la productividad de las tareas para hacer que todas sean similares, eliminando los tiempos muertos sin actividades en cada ubicación. Gráficamente esto se observa como un plan en el que inicialmente las pendientes de las distintas tareas difieren notoriamente entre sí, con grandes espacios en blanco, pero que luego de la alineación queda conformado por tareas con pendiente similar y sin grandes espacios vacíos. Un ejemplo claro de un plan no alineado se tiene en la Ilustración 3.3, donde claramente hay tareas con pendiente mucho más alta que otras, lo que significa que las primeras se terminarán antes ya que tienen una tasa de productividad superior.

3.2.5.5. Cambiar la escala de una tarea

Cambiar la escala de una tarea significa modificar la cantidad de actividades que la componen, ya sea quitando o agregando actividades para aumentar o disminuir la productividad respectivamente. Suele ser muy útil para disminuir la productividad de algunas tareas que se realizan demasiado rápido como para alinearlas con las demás incluso teniendo asignadas tan solo una cuadrilla. Esto, sin embargo, requiere que los trabajadores de dicha cuadrilla sean los suficientemente calificados como para realizar las actividades que se les añadirán, ya que si estos no son capaces de realizarlas no tendría sentido el ajuste, y terminaría causando más problemas que soluciones. Un ejemplo de esto se puede observar en la Ilustración 3.5, donde se ha combinado la tarea “Bottom floor work” con la tarea que le sigue, ya que la primera era demasiado rápida. Esto ha permitido ahorrar dos semanas adicionales a lo ya obtenido en la Ilustración 3.4.

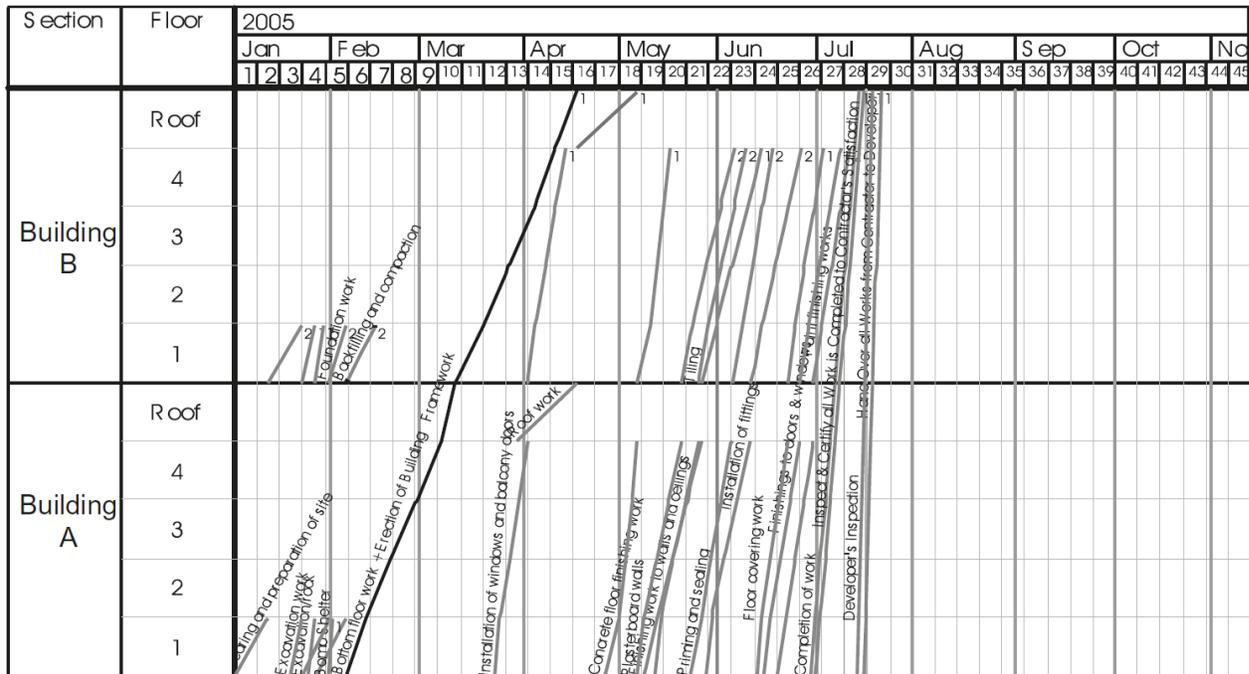


Ilustración 3.5: Plan con cambio de escala (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 224)

3.2.5.6. Cambiar la secuencia de ubicaciones

En algunos casos, es posible comprimir el plan al cambiar la secuencia en la que una tarea se realiza por las distintas ubicaciones. Usualmente, la secuencia de una tarea debe ser la misma que la de la tarea que la precede, pero a veces sucede que no existen predecesores en todas las ubicaciones, lo que permite iniciar anticipadamente la tarea sucesora en dichos lugares. En el proyecto utilizado para ejemplificar los casos anteriores esto significaría cambiar el orden en que se realizan ambos edificios, es decir, comenzar por el edificio B como se muestra en la Ilustración 3.6. Sin embargo, ya que las cantidades de la etapa de fundaciones son mayores en el edificio B, este cambio resulta contraproducente.

3.2.5.7. Cambiar las relaciones lógicas

Al diseñar la secuencia de trabajo y las relaciones entre las distintas tareas, se tienen muchas relaciones que no se pueden modificar ya que sería imposible hacerlo, pero también existen otras relaciones lógicas entre tareas que en realidad no son estrictas en el sentido que no es obligatorio respetarlas, sólo que hacerlo reduce riesgos. Por ejemplo, obviamente no se pueden realizar las fundaciones sin antes haber hecho las excavaciones, pero sí es posible instalar baldosas en los pisos antes de haber terminado las instalaciones eléctricas y sanitarias, pese a que esto implique un riesgo de que durante la realización de estas últimas se rompan algunas baldosas. Otro ejemplo similar es el disminuir el tiempo que se da al hormigón para que pueda secar correctamente antes de instalar el recubrimiento del suelo, lo que aumenta los riesgos de tener defectos en las terminaciones del piso. Ya que estos cambios implican un aumento en los riesgos, se debe realizar un análisis de estos antes de tomar la decisión (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 227).

Otras relaciones que se pueden modificar son las que en realidad son elecciones sobre qué tarea se realiza primero en un espacio dado. Hay casos en los que no existe una relación constructiva entre tareas que se deben realizar en un mismo lugar, y estas se pueden intercambiar según convenga. A diferencia de los anteriores, usualmente estos cambios se pueden realizar sin añadir ningún riesgo. Un ejemplo del primer caso de cambio de relaciones se tiene en la Ilustración 3.9, donde se redujo el tiempo asignado al secado del hormigón antes de comenzar la instalación de pisos de 6 a 5 semanas, reduciendo en una semana el tiempo del proyecto.

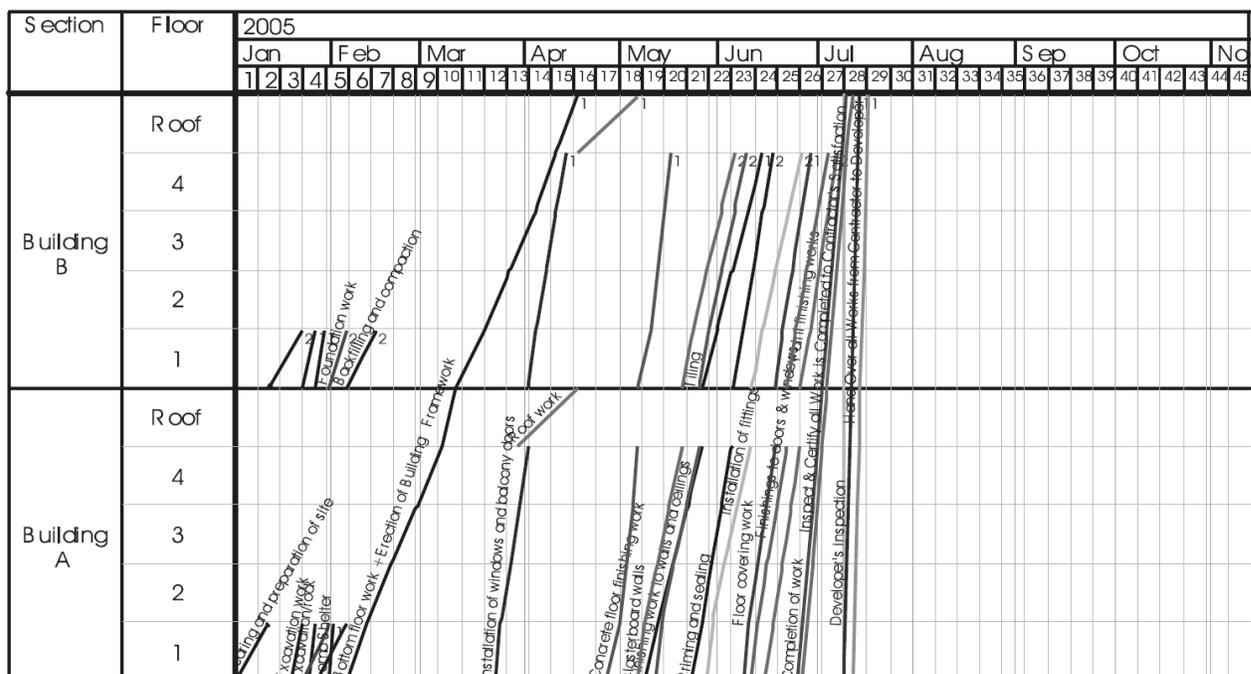


Ilustración 3.9: Reducción del tiempo de secado (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 227)

3.2.5.8. Dividir tareas

El dividir una tarea en segmentos menores se puede realizar en varios casos, principalmente cuando una tarea tiene una tasa de producción muy alta y no es posible cambiar su escala, cuando no se pueden añadir más cuadrillas a una ubicación pero se tienen otras libres, y cuando algunas obligaciones se liberan mucho más tarde que otras por relaciones lógicas. En casos así, el dividir tareas permite mantener la continuidad del trabajo y ahorrar tiempo, pero es importante decidir bien los puntos en los que se dividirán para que el tiempo desperdiciado se minimice y haya la menor cantidad posible de puntos de división. Un ejemplo se puede observar en la , donde se dividen las tareas “Concrete floor finishing work” y “Roof work”, lo que permite un ahorro de 2 semanas de tiempo.

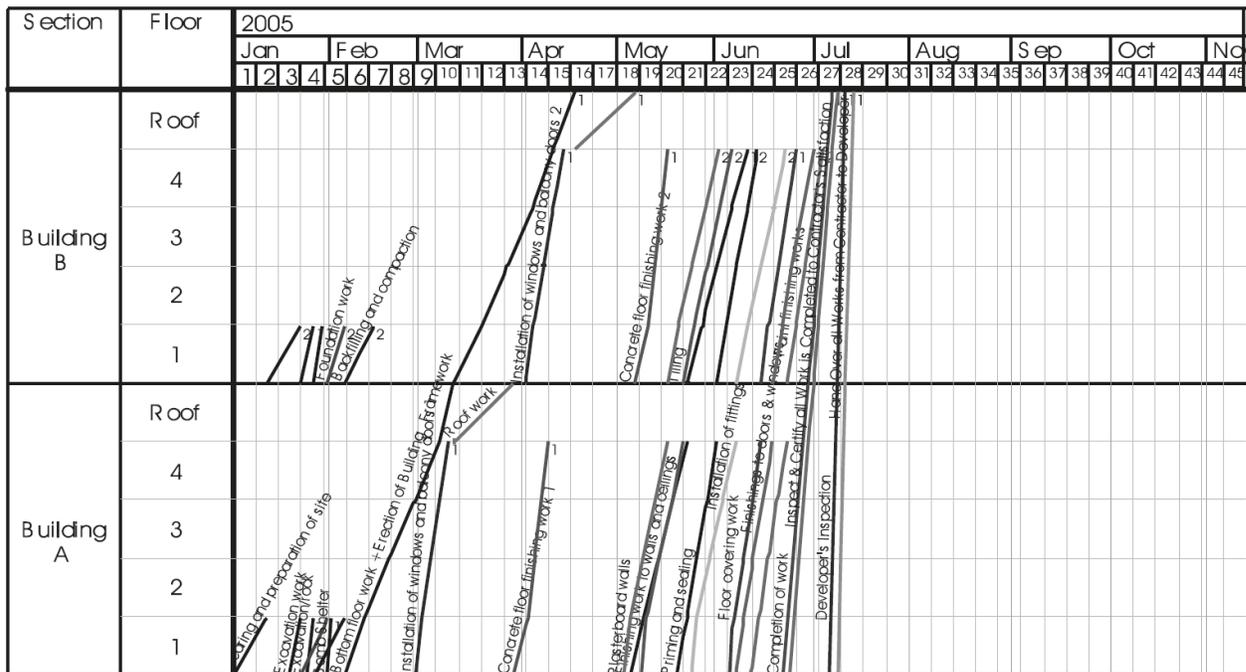


Ilustración 3.10: División de tareas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 228)

3.2.5.9. Hacer que tareas sean discontinuas

Existen algunas tareas que son más rápidas que sus antecesores y sus sucesores, que no pueden ser ralentizadas mediante un cambio en su escala y que además tienen un efecto importante en la duración del proyecto. Tareas como el vertido de hormigón cumplen con estos criterios, y para evitar que genere demoras innecesarias se pueden hacer discontinuas, pero esto debe ser siempre la última opción a tomar (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 229).

3.2.5.10. Obtención del ritmo óptimo

El objetivo final de todo el proceso de alineamiento antes descrito es el obtener el o los ritmos óptimos del plan. Esto quiere decir el ritmo de avance de un grupo de tareas asociadas, lo que se traduce gráficamente en una pendiente similar para todas. Usualmente es entregado por algunas tareas que actúan de cuello de botella, ya que no es posible seguir acelerando su tasa de producción sin generar riesgos excesivos, aunque también puede ser limitado a propósito por el planificador para tener un plan menos riesgoso.

Es común que existan cambios, usualmente al pasar a diferentes fases del proyecto, que generen que todas las tareas desde un cierto punto tengan una tasa de productividad superior, y en estos casos se debe considerar un nuevo ritmo óptimo para esa siguiente fase si no se quiere caer en pérdidas y atrasos.

Es difícil encontrar un algoritmo que defina el ritmo óptimo para el caso general si se considera que las cantidades pueden variar por ubicaciones, y además se tiene la posibilidad de dividir tareas. Sin embargo, se puede intentar observar acelerando todas las tareas hasta que los recursos disponibles no permitan seguir, o hasta que el riesgo asociado se considere demasiado alto. Cuando la tarea más lenta ya no puede seguir siendo acelerada, esta se considera el cuello de botella y es la que define el ritmo óptimo del proyecto y su duración (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 230).

3.2.5.11. Optimizar costo, duración y riesgo

El costo, la duración y el riesgo están directamente relacionados con la planificación realizada. Si se quiere reducir el riesgo, se deben aumentar costos directamente mediante esfuerzos directos para reducir la variabilidad, o indirectamente mediante el aumento de la duración a través de buffers o amortiguadores. Por otro lado, al intentar reducir la duración y los costos se aumenta el riesgo asociado. Así, optimizar el equilibrio entre los tres factores es una tarea compleja que requiere experiencia y planificación (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 233).

La primera medida a tomar es intentar minimizar la variabilidad asociada a los diversos elementos del proyecto para así disminuir el riesgo. Para esto, son varias las medidas que se pueden adoptar desde la planificación, como crear listas de prerequisites para cada tarea de manera anticipada, definir la lógica tomando en cuenta las características específicas de cada proyecto, minimizar la cantidad de movilizaciones para cada contratista, procurar obtener buena información sobre las tasas de producción, ajustar la productividad mediante una curva de aprendizaje, seleccionar contratistas confiables, asegurarse de tener los recursos suficientes si se desea modificar la tasa de producción, entre otros.

Además de todas las medidas anteriormente mencionadas, una parte fundamental del sistema, y su principal herramienta para disminuir riesgos, es el uso de *buffers* o amortiguadores, que son “distancias” entre tareas, ya sea temporales o espaciales, que

permiten que pequeñas variaciones en estas tareas no afecten a ninguna de las que las suceden, además de entregar tiempo a la administración para corregir errores e imprevistos que puedan ir apareciendo. Los amortiguadores temporales son períodos de tiempo entre dos tareas en la misma ubicación en los que no se realiza ninguna otra tarea, viéndose gráficamente como espacios vacíos en el eje horizontal, como queda ejemplificado en la Ilustración 3.11. Por otro lado, los amortiguadores espaciales son el número de ubicaciones vacías en la secuencia de producción entre dos tareas, observándose como la diferencia vertical entre dos líneas.

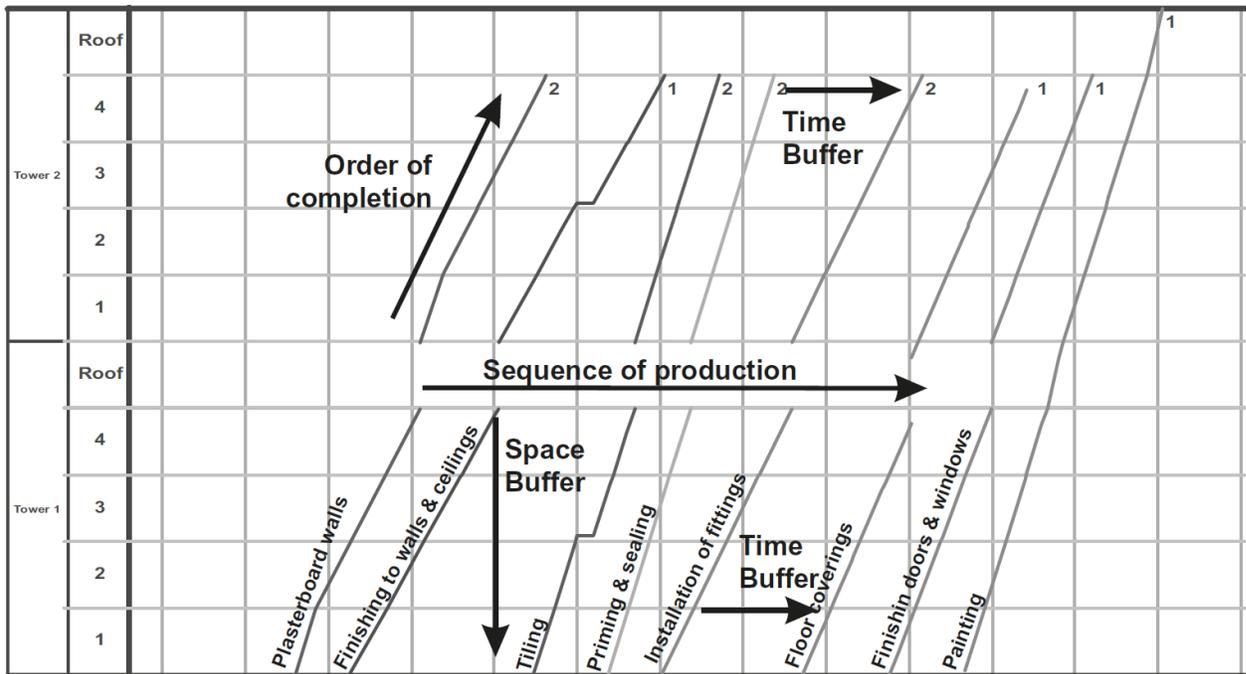


Ilustración 3.11: Ejemplo de buffers (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 236)

Como regla general, el tamaño de los amortiguadores para cada tarea depende de la variabilidad de su predecesor y de la confiabilidad del contratista que la realizará. Se recomienda tener amortiguadores grandes si la tarea predecesora tiene una alta variabilidad, si el contratista no es conocido, si el contratista tiene más tareas que realizar en otros proyectos y si las ubicaciones son pequeñas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 238). Por el contrario, si la tarea tiene predecesores de baja variabilidad, el subcontratista es conocido y confiable, la tarea será realizada por trabajadores directos de la empresa, o si las ubicaciones son grandes, se pueden utilizar amortiguadores pequeños.

Una consideración importante a tomar en cuenta es que se recomienda encarecidamente el utilizar amortiguadores grandes cuando se está recién iniciando en el sistema, especialmente si esta es la primera implementación a realizar, ya que es casi seguro que surgirán bastantes imprevistos y problemas durante la construcción debido a la inexperiencia y mentalidad diferente de casi todo el equipo de trabajo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 415).

3.2.5.12. Verificar la factibilidad del plan

Finalmente, una vez realizado el plan es importante el verificar si es factible, es decir que no presente suposiciones poco realistas que finalmente terminen causando que se dificulte el seguirlo. Para reducir al mínimo esto y así producir el mejor plan posible, este se debe chequear sistemáticamente para encontrar y corregir los errores (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 239).

Primero, se deben revisar las tareas para evaluar si las cantidades que tienen asociadas son razonables de acuerdo a lo que indican la experiencia y el sentido común, resultando deseable realizar un análisis más profundo para las tareas más críticas. También es importante revisar completamente el plan gráficamente, ya que se pueden observar cosas que se pasaron por alto, como lo serían tareas cuya productividad es muy alta o muy baja con respecto a las que la rodean, en donde sería recomendable aplicar las medidas descritas anteriormente en esta sección. Junto con esto, es recomendable estar atento ante amortiguadores que se vean muy grandes o muy pequeños y ajustarlos adecuadamente si es que efectivamente son problemáticos.

Otro problema a evitar es el de interferencias entre distintas tareas, que se observa gráficamente cuando las líneas de 2 o más tareas se intersecan, lo que significa que en esa ubicación dichas tareas estarán realizando al unísono. Esto puede no suponer un problema si las ubicaciones son amplias y las tareas que se interfieren no tienen dependencias técnicas entre sí, pero es probable que en la mayoría de los casos efectivamente suponga un problema (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 242).

Lo siguiente a evaluar son las cuadrillas para cada tarea, se debe revisar que efectivamente las cuadrillas seleccionadas sean las óptimas, además de verificar que los tamaños de dichas cuadrillas son razonables como para realizar el trabajo eficientemente en todas las ubicaciones, sin que la falta de espacio les afecte. La lógica entre tareas también debe ser verificada, ya que es posible obviar algunos aspectos constructivos que restrinjan las relaciones entre algunas tareas, como lo es el dejar suficiente tiempo para el secado y el curado del hormigón antes de comenzar las terminaciones sobre este.

Por último, no se deben olvidar los efectos de los días feriados y las vacaciones festivas, y se deben dejar amortiguadores más grandes para tareas que marquen hitos contractuales (planificando que terminen antes de lo que se tiene estipulado) y para tareas que se realicen entre distintas etapas del proceso constructivo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 243).

3.2.6. Control basado en ubicaciones

Ya se tiene un plan basado en ubicaciones, y el siguiente paso es controlar que este efectivamente sea seguido durante el proceso de construcción, y aquí es donde entra el control basado en ubicaciones. El sistema LBMS utiliza la misma definición de control que Lean, que viene siendo “hacer que las cosas sucedan” en lugar del tradicional “monitorear resultados”, lo que implica un enfoque activo y proactivo, monitoreando constantemente y corrigiendo de manera anticipada en base a la información obtenida de dicho monitoreo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 335).

Existe un proceso sistemático para llevar a cabo el control que consta de 9 etapas, las cuales se detallarán a continuación.

3.2.6.1. Monitorear el estado actual

El primer paso consiste en actualizar el estado de cada tarea y ubicación para tener información en tiempo real sobre la producción y el estado actual del plan. Las estrategias para recolectar dicha información se dividen en dos categorías, centralizadas y distribuidas (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 337). En las primeras, existe una persona responsable del monitoreo que debe recorrer las ubicaciones para observar y registrar el estado del trabajo. Esto permite tener una imagen objetiva y precisa, especialmente si el encargado es experimentado, pero no entrega ninguna información sobre qué ha ocurrido durante el período desde el registro anterior. Esto puede ser especialmente problemático si el monitoreo es semanal, ya que todo lo que ha ocurrido durante la semana deberá ser estimado, evitando que se tenga acceso a información precisa sobre las fechas exactas durante dicha semana.

Por otro lado, están las estrategias distribuidas, en donde una serie de personas u organizaciones son las encargadas de obtener y entregar la información. Por ejemplo, cada contratista podría estar encargado de registrar constantemente el estado de su trabajo y luego informarlo en base al período registrado, que sería semanalmente siguiendo el ejemplo anterior. Si bien esto soluciona el problema de la información faltante, abre otro nuevo, ya que se corre mayor riesgo de que la información no esté correcta, ya sea por disparidad de criterios entre los observadores, por falta de experiencia de estos o incluso por conveniencia, indicando que se finalizaron partes que en realidad no están completas. Usualmente es conveniente y recomendable utilizar una combinación de ambas estrategias para tener lo mejor de ambos mundos, por ejemplo, pidiendo a los contratistas que reporten la información, pero enviando también un encargado para verificarla.

Ahora, para llevar a cabo los reportes de información es necesario tener criterios definidos, especialmente si se utilizaran estrategias distribuidas, ya que sólo así se puede obtener información precisa y confiable. Para las fechas reales de inicio de cada tarea, es importante considerar la escala de cada una. Si para obtener las tasas de producción se incluyeron labores preparativas, entonces el trabajo comienza cuando estas también lo

hacen. Por el contrario, si este trabajo preparativo no es considerado como parte de la duración de la tarea, entonces se debe considerar su inicio cuando comienza la producción efectiva. Si estas fechas exactas son desconocidas, se pueden estimar en base a la información que se posee. Por ejemplo, si se terminan tres ubicaciones de tamaño similar en una semana, se puede asumir que cada una tomó 2 días en completarse (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 338).

Además de esto, es importante coordinar cómo se registrarán los porcentajes de finalización de tareas en cada ubicación. Si estas ubicaciones son pequeñas, en general basta con registrarlas como “sin comenzar”, “en proceso” y “terminada”. Sin embargo, si son de mayor tamaño, empieza a resultar útil utilizar porcentajes de término. Ya que no se tienen datos exactos desde el modelo BIM, la mejor alternativa es aproximar el porcentaje a cuartos, es decir, 25%, 50% o 75%. Relacionado a esto es que usualmente se tendrán casos en los que una ubicación está casi completa salvo pequeños detalles, y en estos casos conviene registrarla como completa y asignar el trabajo restante a una nueva tarea de detalle, la que se debe documentar para evitar tener una acumulación de estas en las etapas finales.

Otro dato importante por registrar son las interrupciones del trabajo, ya que pueden afectar enormemente a las predicciones realizadas. Por interrupción se entiende cuando hay poco o ningún progreso con respecto a la última actualización. Por ejemplo, si una ubicación se inició un lunes y se terminó un viernes pero no hubo trabajo durante los 3 días intermedios, la duración efectiva del trabajo serían 2 días en lugar de 5, y no registrar la interrupción llevaría a obtener una tasa de producción real mucho más lenta que la que en verdad se tiene.

Para terminar esta parte se tienen los recursos reales, en donde es fácil obtener un promedio de toda la fuerza de trabajo por contratista de los informes semanales que estos deberán hacer, pero donde resulta mejor si se solicita a todos los trabajadores registrarse al entrar y salir de la obra. Resulta mucho más complejo registrar qué estaba haciendo dicha fuerza de trabajo y dónde estaban trabajando para cada contratista, pero se puede obtener un estimado al comparar el trabajo real realizado por cada contratista versus el trabajo real de toda la fuerza de trabajo.

3.2.6.2. Comparar pronósticos con el plan

Para poder tomar decisiones informadas y oportunas, el estado actual del proyecto debe ser visualizado y comparado con el plan de detalle y la línea de base. La principal herramienta para esto es el gráfico de líneas de flujo, pero estos pueden verse saturados al existir demasiadas líneas al mismo tiempo. Para remediar esto, se deben utilizar filtros al realizar las comparaciones (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 340).

El primer filtro recomendado consiste en visualizar la línea de base junto con las tareas críticas, lo que permite ver los efectos que tienen las desviaciones actuales en la

fecha de término, los amortiguadores planificados y cómo ha ido ocurriendo la producción en comparación con la planificación inicial. Esto resulta muy útil para la comunicación con el cliente y con la gerencia.

La siguiente opción corresponde a una vista de las tareas detalladas actualmente en proceso, que puede ser utilizada en reuniones en obra con trabajadores y contratistas para comunicarles la necesidad de tomar acciones de control, ya que facilitan explicar que es lo que actualmente está sucediendo en la obra.

Otra alternativa consiste en vistas enfocadas en ciertas ubicaciones, usualmente utilizadas para examinar a fondo alguna ubicación crítica. Esta visualización detallada permite mostrar niveles más profundos de la LBS para visualizar fácilmente la secuencia de trabajo que deben tomar las distintas cuadrillas. Un ejemplo simple sería el ver detalladamente las ubicaciones dentro de un piso en un edificio.

También se pueden utilizar vistas basadas en tiempo para asegurarse que los prerrequisitos para las tareas a continuación estén cumplidos y las tareas de detalle hayan sido planificadas. El principal ejemplo de esta vista sería utilizar una vista de 6 semanas hacia adelante para utilizar en el *look-ahead*.

3.2.6.3. Planificar acciones de control

Luego de comparar los pronósticos con el plan, cualquier desviación pronosticada debe gatillar la toma de acciones de control por parte de la administración, junto con un análisis de las razones por las que ocurrió dicha desviación para evitar que se siga repitiendo. Para esto, se recomienda utilizar una serie de preguntas a responder.

La pregunta más básica, y la primera que se debe resolver, es dilucidar qué fue lo que ocurrió. Las desviaciones pueden agruparse generalmente en cinco grupos (Seppänen & Kankainen, 2004):

- *Retraso al iniciar una tarea*
- *Desviación de la tasa de producción*
- *Separación de cuadrillas en varias ubicaciones*
- *Cambio en la secuencia de trabajo*
- *Interrupción del trabajo*

Usualmente las desviaciones son fáciles de clasificar al mirar el diagrama de líneas de flujo, como se observa en la Ilustración 3.12. Los retrasos en el inicio se ven como una desviación horizontal entre la línea planificada y la real, las desviaciones de la tasa de producción se ven como líneas reales que tienen una pendiente más suave que la planificada, la separación de cuadrillas se ve como líneas que se superponen en el gráfico, los cambios en la secuencia de trabajo se distinguen como diferencias en el patrón de las líneas reales versus las planificadas, y las interrupciones del trabajo se ven como líneas horizontales.

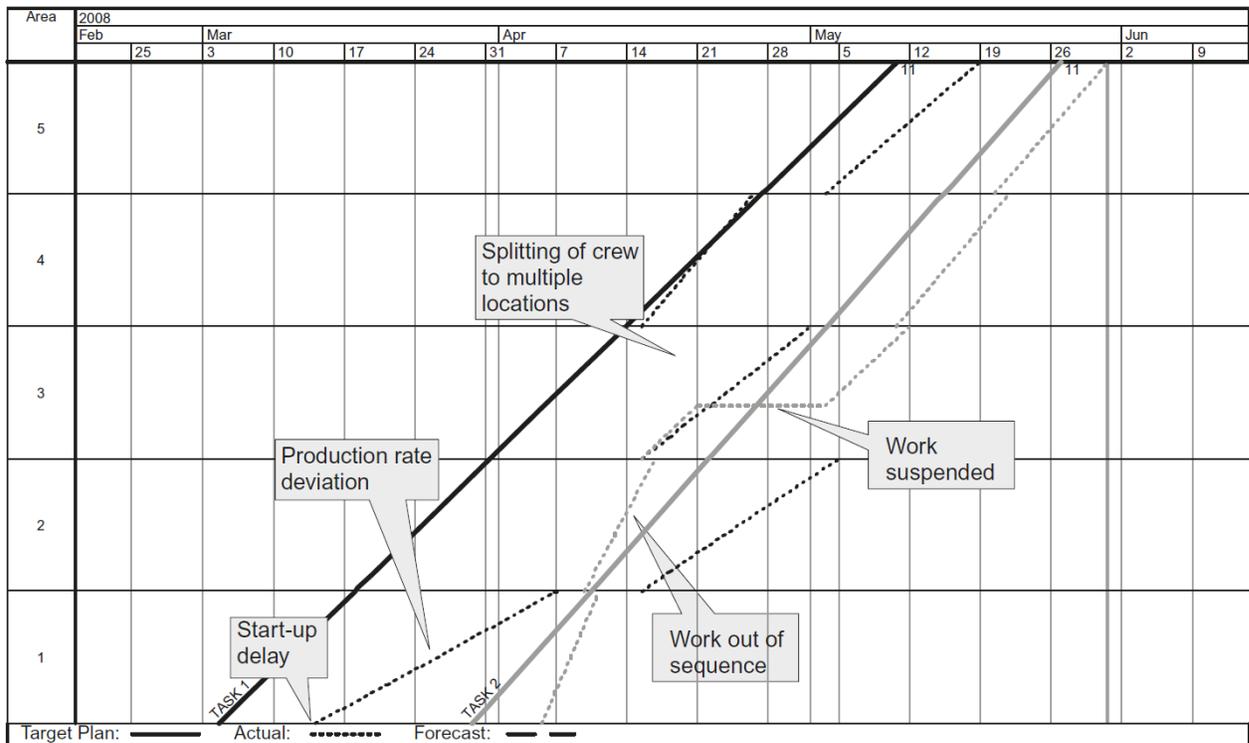


Ilustración 3.12: Tipos de desviación (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 346)

La siguiente pregunta por responder es por qué ocurrió dicha desviación. Usualmente el análisis de las causas requiere ir más profundo que tan solo utilizar la data del sistema de control. Por ejemplo, un retraso en el inicio de una tarea puede ser causado por mal tiempo, falta de detalles de diseño, problemas con los materiales, entre muchas otras causas, y estas razones afectan enormemente en la manera que se debe responder. A continuación, se enumeran algunas de las causas más comunes para cada tipo de desviación.

Los retrasos en el inicio de tareas usualmente se encuentran causados por problemas con los prerrequisitos, tareas predecesoras retrasadas y no disponibilidad de recursos.

Las desviaciones en la tasa de producción generalmente se relacionan con tener muy pocos recursos en obra, aumento de las cantidades a realizar, baja productividad o trabajo más complejo que el esperado. Sin embargo, estas no son la raíz del problema, ya que, por

ejemplo, un aumento de las cantidades puede provenir de un error al estimarlas, o una baja productividad puede provenir de un error en el método usado para estimarla en la planificación. Es por esto que es importante realizar un análisis profundo que permita efectivamente identificar las verdaderas causas, porque si estas no se solucionan el problema volverá a surgir.

La división de cuadrillas puede ser causada porque la cuadrilla está realizando trabajo en varias ubicaciones antes de terminarlas, porque existe algún factor que le impide terminar el trabajo en las ubicaciones, o porque las distintas ubicaciones no se encuentren bien demarcadas y señalizadas, generando que los trabajadores no sigan el plan.

Los cambios de secuencia usualmente van asociados a una mala comunicación del plan, lo que cause que los trabajadores no sepan dónde deberían trabajar. También puede provenir de que algunas ubicaciones les resulten más fáciles que otras, por lo que prefieren comenzar por esas.

Finalmente, las interrupciones del trabajo tienen muchas y variadas causas, pero pueden ir asociadas a que las tareas anteriores progresan demasiado lento, a problemas de mal tiempo y a que se necesitó de dicha cuadrilla en otro lugar.

Lo siguiente a evaluar es cuál es el efecto que tienen las desviaciones. Para los retrasos en el inicio, depende básicamente del tamaño del amortiguador entre esa tarea y las que la suceden. Si el amortiguador es mayor que el retraso, no afectará directamente a las demás tareas, como se puede ver ejemplificado en la Ilustración 3.13.

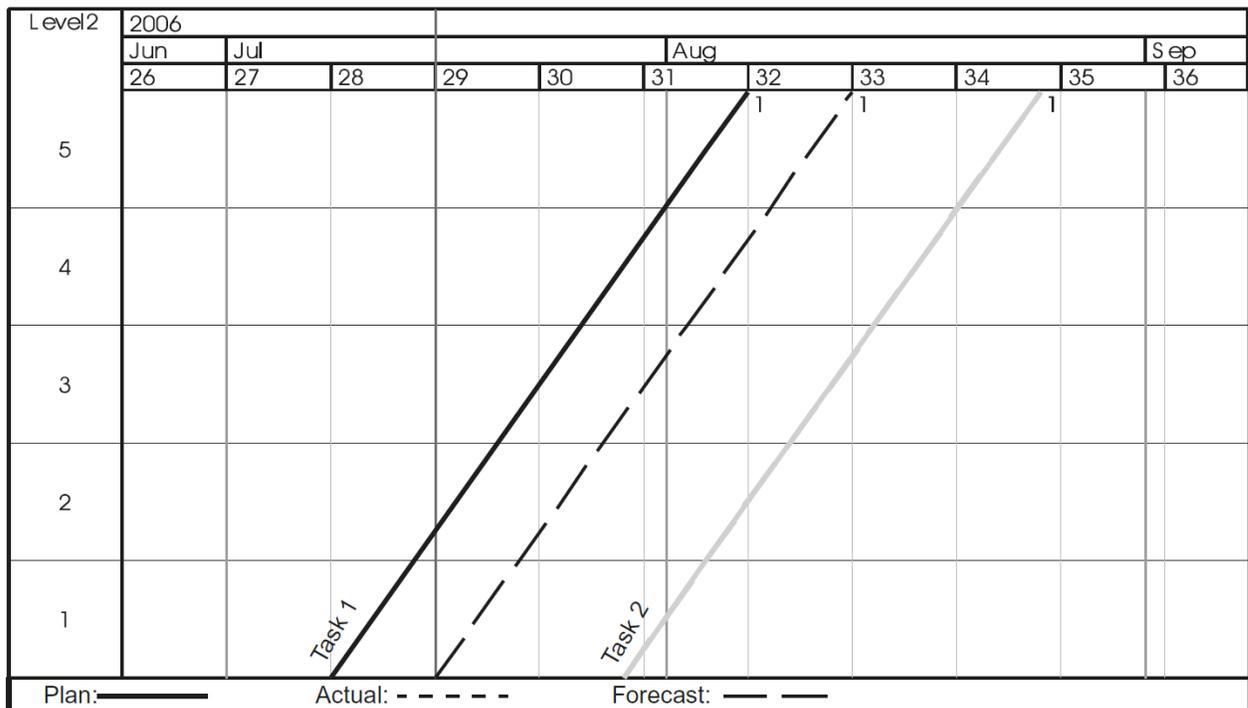


Ilustración 3.13: Efecto de un retraso al iniciar (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 349)

Los efectos de las desviaciones en las tasas de producción pueden causar que las tareas sucesoras pierdan la continuidad, ya que no tendrán completado su requisito a tiempo. Esto se ve claramente en el gráfico, como se tiene en la Ilustración 3.14.

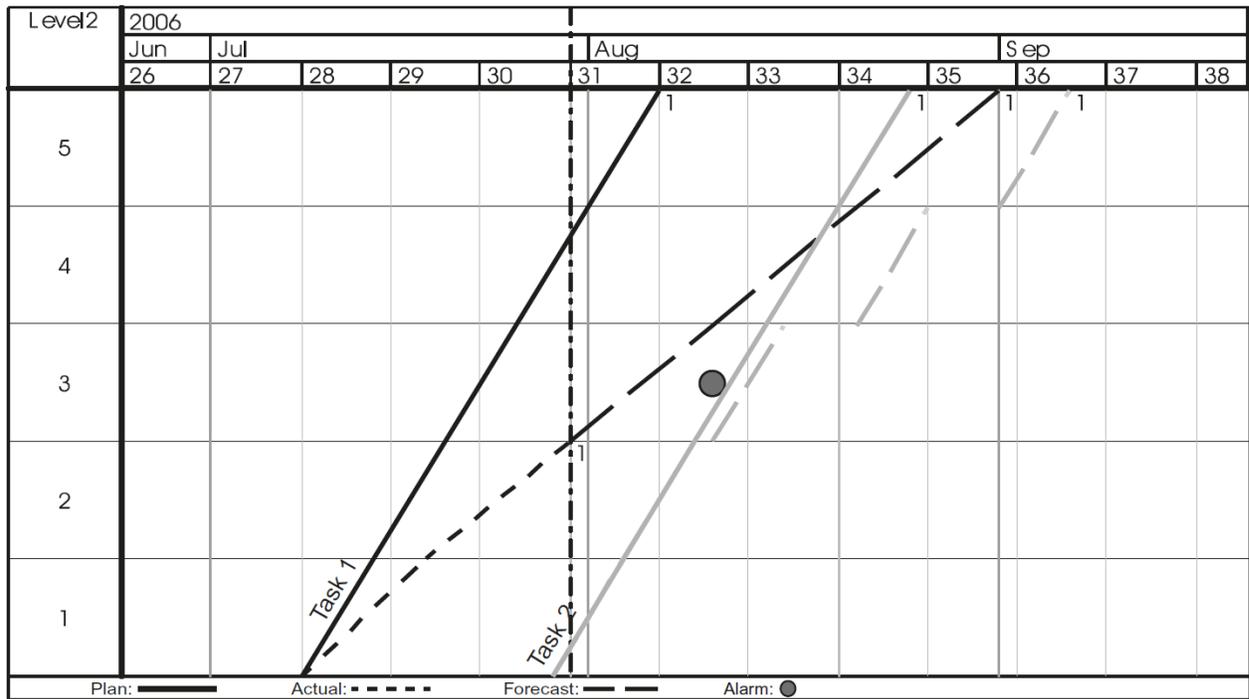


Ilustración 3.14: Desviación en la tasa de producción (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 349)

Dividir el trabajo para realizar varias ubicaciones al mismo tiempo es un comportamiento bastante común en contratistas, y causa que la velocidad de avance en cada ubicación disminuya, provocando problemas en las tareas sucesoras de manera similar al caso anterior, ya que las ubicaciones no se encuentran libres cuando se tenía presupuestado, como se puede observar en la Ilustración 3.15.

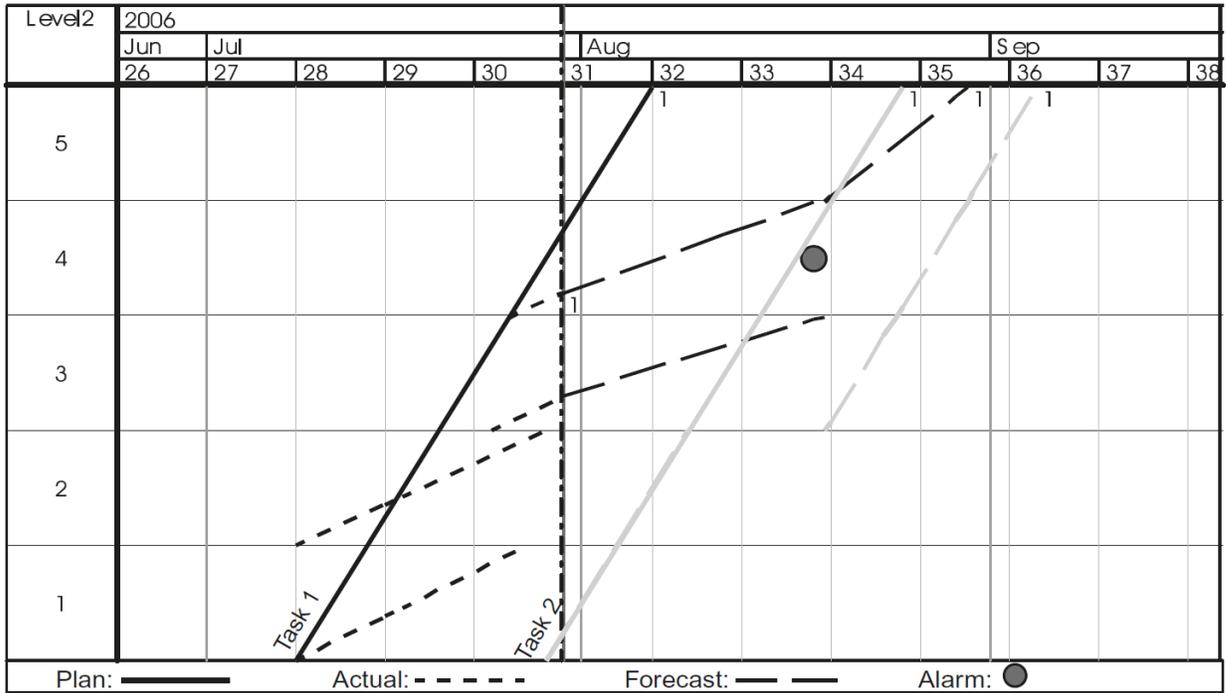


Ilustración 3.15: Efectos de la separación de trabajo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 350)

Por último, el trabajo fuera de secuencia causa que las tareas siguientes también deban romper la secuencia. Si existen amortiguadores, usualmente pueden absorber algunos errores en seguir la secuencia sin afectar notoriamente al resto de tareas, pero si el problema persiste se producirán retrasos en cadena. Un ejemplo de sus efectos se tiene en la Ilustración 3.16.

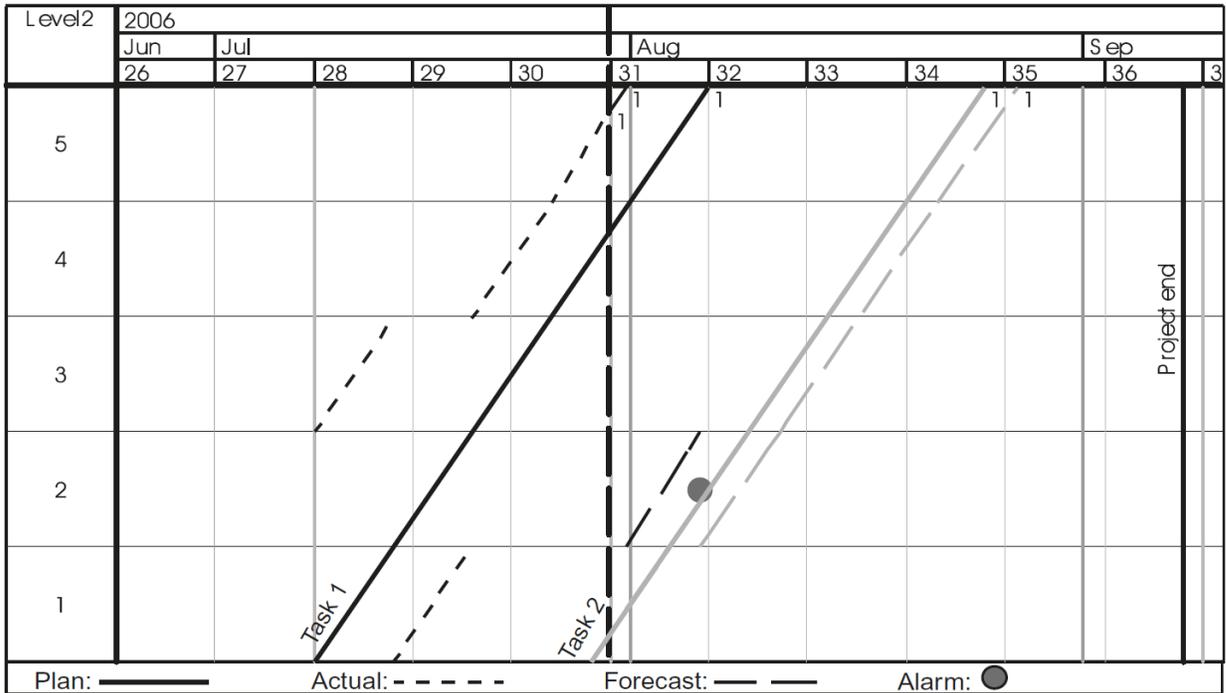


Ilustración 3.16: Efectos del trabajo fuera de secuencia (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 351)

Ya conociendo los efectos causados por una desviación, se debe decidir qué acciones de control se van a tomar para remediarla. Nuevamente, las acciones que se pueden llevar a cabo se categorizan, a grandes rasgos, en 5 tipos (Seppänen & Kankainen, 2004):

- *Modificar la tasa de producción*
- *Modificar el contenido del trabajo*
- *Romper el flujo de trabajo*
- *Cambiar la secuencia de ubicaciones*
- *Superponer producción es múltiples ubicaciones*

Finalmente, existe una alternativa adicional: no hacer nada al respecto y simplemente aceptar el retraso.

Normalmente la mejor alternativa es la de modificar la tasa de producción de tareas con demoras, ya que permite mantener la continuidad del flujo de trabajo. Esta tasa puede ser aumentada añadiendo más recursos, trabajando más tiempo (horas extra), o reduciendo las actividades que no añaden valor dentro de la cuadrilla. Esta acción de control usualmente está restringida por la disponibilidad y voluntad de los contratistas respectivos, y no es impensable que estos se nieguen a aumentar los recursos o a trabajar horas extra. Ante esta encrucijada, si no se ha mencionado en el contrato la tasa de producción que se debe alcanzar, la única posibilidad es intentar persuadir al contratista al hacerle notar los beneficios de solucionar el problema antes de que siga causando más consecuencias (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 352).

La siguiente opción consiste en cambiar el contenido del trabajo de las cuadrillas, es decir, añadir o quitar actividades productivas al trabajo que se debe realizar en cada ubicación. Añadir trabajo es muy útil para ralentizar cuadrillas que llevan un ritmo muy alto, mientras que quitar sirve para acelerar cuadrillas que se están quedando atrás. Sin embargo, al igual que el caso anterior, el llevar a cabo esta medida depende en buena parte del contratista y su voluntad de hacerlo, además de requerir trabajadores lo suficientemente calificados como para realizar el trabajo extra en caso de añadir más.

Luego, romper el flujo de trabajo implica hacer que la tarea sucesora sea discontinua a propósito. Esto puede ocurrir involuntariamente, donde resulta ser una desviación, pero si se realiza por órdenes del planificador puede ayudar a solucionar problemas. Si la tarea predecesora se encuentra retrasada, es muy probable que la cuadrilla encargada de la sucesora eventualmente se encuentre sin la capacidad de trabajar debido al retraso anterior. Ante este escenario, puede ser preferible pedir a esta cuadrilla que abandonen la tarea por un período de tiempo y que luego vuelvan cuando ya esté suficientemente avanzada la predecesora. Así, se tiene un solo intervalo sin trabajo, en lugar de tenerlos continuamente.

Cambiar la secuencia de las ubicaciones es usualmente fácil de realizar, pero es posible que termine causando más problemas que los que resuelva, ya que cambiar la secuencia, aunque sea sólo en lugares o momentos determinados, suele causar que los trabajadores pierdan la noción de la secuencia original, por lo que es probable que se desordenen de ahí en adelante, causando un problema que es difícil de reparar.

Por último, superponer producción en múltiples ubicaciones es la manera tradicional de ponerse al día, donde se añaden recursos a todas las ubicaciones disponibles. Esto causa problemas en el control, ya que es muy difícil saber quién debería estar trabajando en cada lugar, además de que dificulta el seguimiento de las cuadrillas y sus tasas de producción reales. Pese a esto, es una opción válida si se controla de manera correcta y exhaustiva.

Para terminar con esta etapa, al tener seleccionadas las acciones de control que se llevarán a cabo, el pronóstico ajustado a estas acciones se transforma en el plan a seguir, debiendo ser usado en las siguientes etapas del control semanal.

3.2.6.4. Evaluar las necesidades de recursos

Para alcanzar la mayor efectividad posible, es fundamental que las necesidades de recursos de los contratistas sean comunicadas y evaluadas constantemente para que puedan ser satisfechas. Para evitar el riesgo de movilizaciones adicionales, los contratistas deben avisar con antelación cualquier necesidad adicional de recursos por sobre la planificada inicialmente. Se debe tener en cuenta que existen contratistas que, por la naturaleza de su trabajo, es casi seguro que no puedan entregar una planificación precisa de los recursos a necesitar, por lo que sus necesidades deberán ir siendo sorteadas en la marcha (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 357).

3.2.6.5. Crear reportes para reuniones en obra

Una parte importante del control ocurre en las reuniones semanales, donde los contratistas informan su avance, se analizan las desviaciones y se decide que acciones de control se tomarán. Es el mejor espacio para presentar información basada en ubicaciones y para generar compromisos, ya que todas las partes relacionadas a la producción están usualmente presentes. Sin embargo, la información de control basada en ubicaciones puede ser muy compleja si no se restringe la información presente a sólo la que es relevante. Es por esto por lo que es importante crear reportes pensando en estas reuniones, y enviarlos a los participantes anticipadamente para darles tiempo a leerlos y comprenderlos.

Se tiene dos principales reportes a realizar, tablas de control y gráficos de líneas de flujo. Para las tablas de control, se deben considerar algunos aspectos para poder tener tablas útiles para las reuniones.

Primero, todas las tareas relevantes deben estar en una tabla de control, ya que su estado debe ser evaluado en todas las reuniones. La importancia de las tareas se puede definir de acuerdo a si son críticas o no, o considerando su importancia económica.

También es deseable que las tablas muestren causa y efecto, presentando varias tareas que estén directamente relacionadas entre sí, lo que permite ver las ramificaciones que causarían retrasos en tan sólo una tarea.

Es probable que los participantes de las reuniones tengan algunos problemas para comprenderlas en un inicio, por lo que se sugiere mantener un diseño y formato constantes, repitiendo las tareas y ubicaciones en las distintas reuniones hasta que todas hayan sido completadas. Esto permitirá que los participantes se vayan familiarizando más fácilmente con el nuevo sistema.

Además, las tablas deben comparar el progreso con los compromisos de tareas detalladas, ya que la línea de base puede que no tenga mucha relación con lo que esté ocurriendo en la realidad en ese determinado momento.

Para los gráficos de líneas de flujo, como ya se mencionó en la sección 3.2.6.2, muy probablemente sea necesario utilizar filtros para permitir que sean fácilmente entendibles. Además de esto, una buena práctica es mostrar tanto los problemas como las acciones de control, lo que permite mostrar tanto los efectos del problema como los efectos de la solución a los demás miembros, fortaleciendo la confianza de estos en el sistema de control.

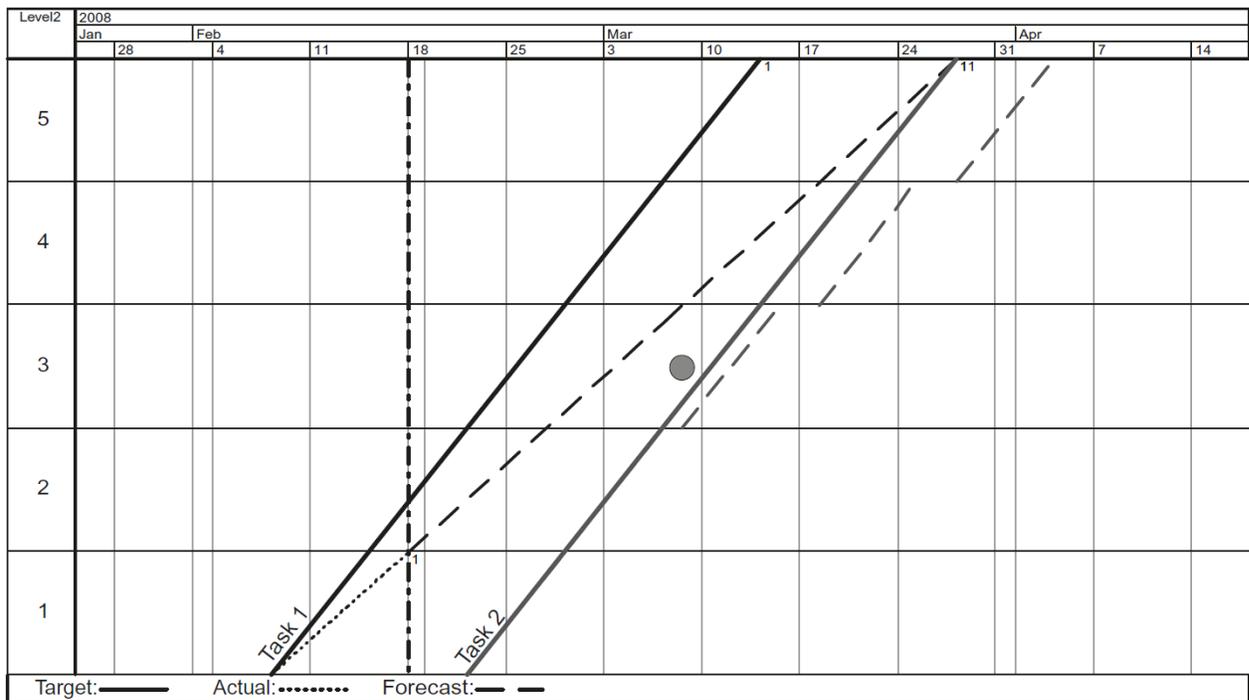


Ilustración 3.17: Problema en líneas de flujo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 361)

Un buen ejemplo de esto se tiene en la Ilustración 3.17, donde se puede ver un gráfico de líneas de flujo que presenta una desviación, y luego en la Ilustración 3.18 se presenta el gráfico de la acción de control que se tomará para solucionar dicha desviación. Ambos gráficos deberían ser presentados en las reuniones.

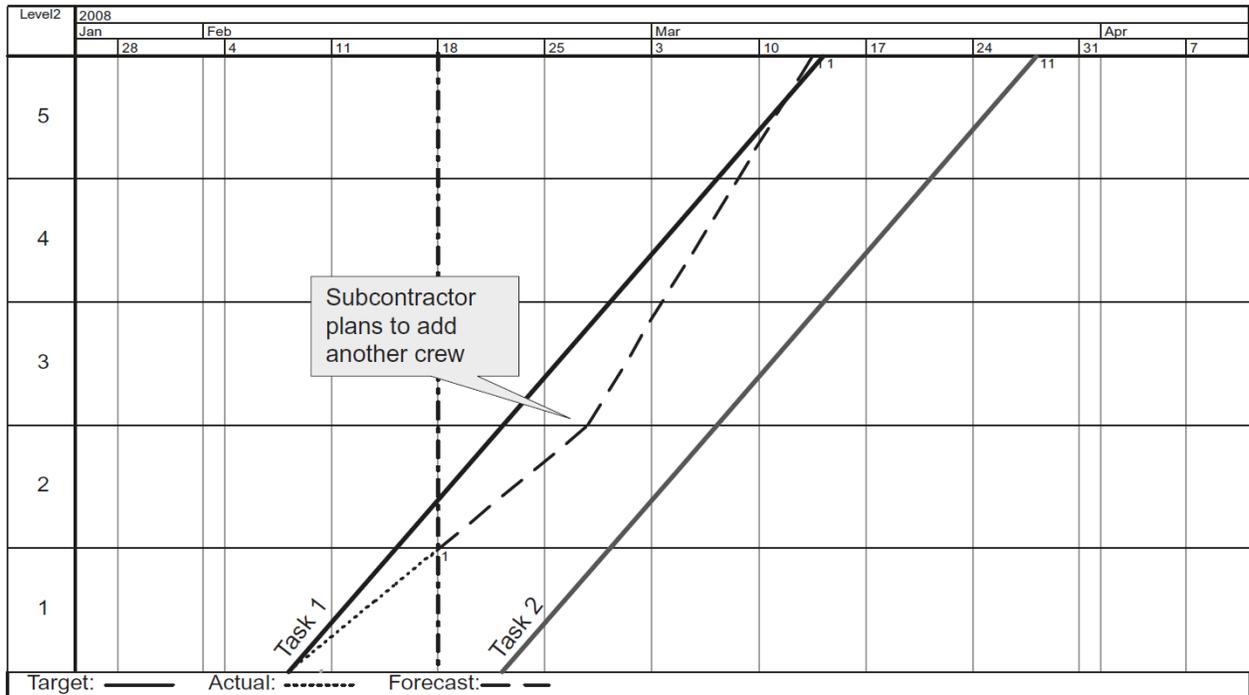


Ilustración 3.18: Acción de control en líneas de flujo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 362)

3.2.6.6. Reuniones en obra

Ya que se tiene listos los reportes que se presentarán en las reuniones, se debe planificar cómo serán estas llevadas a cabo. Se recomienda enfocarse en las desviaciones del plan que se estén experimentando, cualquier emergencia que haya surgido y sus posibles soluciones.

Se puede comenzar revisando las tablas de control, específicamente centrándose en todas las tareas que están retrasadas, buscando la razón de dichos retrasos. Usualmente estas razones pueden venir dadas por factores externos, por lo que buscarlos con todo el equipo resulta provechoso. Estas tablas no deben ser usadas para planificar o informar acciones de control, sólo para ver desviaciones de los compromisos realizados.

Luego se procede a analizar los gráficos de líneas de flujo, y de manera similar a las tablas de control se deben priorizar y discutir los problemas identificados. Así se logra que todos en el equipo tengan más confianza en el control y gestión.

Además, se debe dedicar tiempo a discutir la producción en las próximas semanas, usualmente usando una ventana de las 6 semanas siguientes., para asegurarse que todos los prerrequisitos para empezar las tareas se cumplirán para cuando estas deban empezar

en cada ubicación. La mejor forma de asegurar esto es crear una lista para cada tarea que incluya todos los problemas conocidos que pueden afectar su inicio.

Por último, es importante realizar minutas de las reuniones, donde se anexen los gráficos utilizados en cada una. Estas deben enfocarse en la producción a futuro y cualquier acción de control que se haya decidido tomar. Usualmente las minutas se enfocan demasiado en el trabajo que ya se ha hecho o que se está haciendo actualmente, pero sin enfocarse en el futuro, que resulta ser la única parte de la producción que efectivamente se puede cambiar y mejorar.

3.2.6.7. Planificación detallada

Uno de los pasos más importantes, consiste en actualizar las tareas existentes para que se correspondan con los compromisos y la nueva información obtenidos durante la producción, además de la planificación de nuevas tareas de detalle (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 367).

Primero, se tienen las tareas de la línea de base, las cuales sirven como compromisos con el cliente y la administración de la empresa, por lo que no deben ser modificadas al menos que se llegue a un acuerdo con estos actores. Uno de estos casos es si un cliente aprueba algún tipo de variación en el proyecto, ya sea como una nueva tarea o como una modificación de las cantidades de alguna tarea ya existente. También entran en un caso similar retrasos causados por el mismo cliente o por razones de fuerza mayor.

Otra razón de peso para modificar la línea de base es si existen errores lógicos en esta, siendo el más común que la LBS seleccionada en un inicio no funciona de manera correcta para controlar el proyecto. Esto ocurre ya que existen factores que son usualmente pasados por alto en la planificación, pero que se hacen notar durante el control.

Un último caso que amerita la modificación de la línea de base es si se tiene un retraso irre recuperable y muy largo, superior a un mes. Esto causaría que las tablas de control y los diagramas de líneas de flujo constantemente muestren los mismos problemas que no pueden ser resueltos, causando primero un bajón en la moral del equipo al ver tantos problemas constantemente en sus reuniones, y luego un desinterés ante todos los problemas, incluyendo aquellos que si se pueden remediar.

El proceso de control funciona mejor si se tienen más ubicaciones, y si estas son más específicas. Sin embargo, es recomendable intentar siempre agregar nuevas tareas de detalle que agregar nuevas ubicaciones, ya que esto último desordena los gráficos.

Otro asunto del que ocuparse es el de actualizar las cantidades para todas las tareas de detalle que se realizarán próximamente, lo que debería ser hecho de manera semanal. Hay varias razones que pueden hacer que las cantidades cambien, como un error previo en las cantidades, una desviación o la necesidad de detallarlas más profundamente. Esta última es la causa más común de cambios en las cantidades, ya que es probable que la

planificación inicial se haya diseñado con cantidades más gruesas, pero que para modelar correctamente el trabajo en terreno estas ya no sean lo suficientemente específicas.

Dentro de la planificación detallada, probablemente la parte más importante es la de planificar nuevas tareas de detalle dentro de planes de tareas. Los planes de tareas están compuestos por varias tareas de detalle, y definen el cómo se logrará alcanzar los objetivos propuestos en la línea de base. Crear un correcto plan de tareas requiere de bastante información, como detalles del diseño, cantidades, conocimientos acerca de métodos constructivos, relaciones con otras tareas y disponibilidad de recursos (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 370).

La planificación de tareas es un proceso iterativo, ya que usualmente se comienza diseñando como un borrador por el planificador, para luego irlo refinando en reuniones con los contratistas. Un plan de tareas se fija en cuanto un contratista se compromete a él, y luego de dicho compromiso el plan no se modifica salvo situaciones excepcionales, como demoras.

El primer paso para diseñar estas tareas es el de calcular las cantidades correspondientes a un nivel mucho más preciso, ya que usualmente en la planificación inicial se encuentran detalladas de una manera muy gruesa que sirve para planificar a grandes escalas, pero no para planificar el día a día de la construcción. Por ejemplo, al planificar inicialmente los muros interiores de tabiquería puede que se deban realizar suposiciones sobre cómo estén estos distribuidos, o puede que dicha distribución cambie desde el diseño a la etapa de construcción, por lo que es necesario revisar y detallar las cantidades nuevamente.

Con las cantidades obtenidas, se procede a decidir la lista de tareas de detalle que describan precisamente como se llevará a cabo el trabajo para cada tarea de la línea de base, ya que las segundas se encuentran descritas de una manera muy global.

Luego toca planificar los recursos que se asignarán a cada tarea de detalle, donde se recomienda utilizar una nomenclatura más específica, como números asignados a cada recurso para facilitar el seguimiento del mismo.

El flujo de recursos y el uso de las ubicaciones debe ser optimizado para que los objetivos fijados por la línea de base puedan ser cumplidos. Hay una gran cantidad de variables a tomar en cuenta para tener un plan de tareas optimizado, como (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 373):

- Recursos
 - Cambiar el número de recursos
 - Cambiar el flujo de recursos

- Secuencia de las tareas de detalle
 - Modificar tareas y su lógica
 - Hacer excepciones a la lógica de ser necesario
- División y continuidad
 - Flujo de trabajo continuo
 - Dividir tareas de detalle
 - Planificar continuidad de recursos a través de tareas
- Secuencia de ubicaciones
 - Cambiar la secuencia de construcción
- Turnos y días libres
 - Planificar horas extra para actividades críticas
 - Tomar en cuenta vacaciones y días libres

Un plan de tareas optimizado debe tomar en cuenta varios factores, como la situación actual de las tareas predecesoras, contratos y compromisos realizados, información actualizada, conocimiento de contratistas y sus recursos, uso de recursos continuo para todos los recursos disponibles, evitar la superposición de recursos, respetar las restricciones dadas por la línea de base, entre otros.

3.2.6.8. Monitoreo de prerequisites

Cada tarea y ubicación tiene una serie de prerequisites para poder realizar efectivamente el trabajo destinado, que se pueden clasificar en cinco grandes grupos (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 378). El primero es la disponibilidad de recursos y equipamiento, ya que cada tarea necesita una cantidad asignada de estos para su correcta realización. Si se añaden recursos extra durante la realización de alguna tarea, es fundamental asegurar que se encuentren disponibles a tiempo. Una falla común es asignar más recursos para las tareas críticas, pero nunca asegurarse que efectivamente estén disponibles si es que se les llega a necesitar.

Otro de estos grupos es el de diseño y detalles, los que deben ser completados para lograr tener toda la información necesaria antes de comenzar a trabajar en alguna ubicación, de lo contrario es bastante probable que no se pueda terminar el trabajo.

El siguiente grupo corresponde al de actividades predecesoras, las que pueden ser vistas explícitamente en diagramas de flujo. Si existes desviaciones en algunas tareas, sus sucesoras también se verán afectadas, lo que se puede ver en el pronóstico para así tomar acciones de control y prevenir mayores problemas.

Luego se tiene el grupo de adquisiciones y entregas, que se refiere generalmente a los materiales necesarios para el trabajo. Estos deberían estar en las ubicaciones respectivas antes de que comience el trabajo para una óptima productividad, pero tampoco es recomendable que estén ahí desde mucho antes, ya que si la tarea anterior trabaja con los materiales en el sitio es probable que, por un lado, su productividad se vea afectada y, por otro, que los materiales sufran daños. De ahí viene la necesidad de planificar correctamente las entregas, para lo que es muy útil el pronóstico.

El último grupo corresponde al de potenciales problemas, referido a los riesgos asociados a las tareas. Estos deben ser identificados antes de iniciar la producción, para evitar que se materialice durante esta, causando pérdidas.

3.2.6.9. Planificación semanal y encargos

El trabajo es ejecutado en obra basado en encargos, los que pueden referirse a trabajo de gestión de producción (posibilitar el trabajo) o a tareas relacionadas con la producción. Para mantener la productividad, las tareas de producción deben ir sucediendo continuamente, y para esto es fundamental definir y controlar los encargos (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 379).

Para definir los encargos de producción, el objetivo se puede obtener directamente del pronóstico, que ha sido ajustado con las acciones de control acordadas. Este pronóstico ajustado entrega información confiable sobre cuanto trabajo pueden completar las cuadrillas en una semana. Si las ubicaciones son pequeñas, los encargos se pueden dar en términos de ubicaciones a ser finalizadas en una semana. Sin embargo, si estas son más grandes y solo se puede completar una parte de la ubicación en una semana, se necesitará de diagramas para indicar qué partes del trabajo se deben realizar en la semana, de lo contrario el encargo no estará bien definido. La cantidad de encargos luego puede ser contrastada con el pronóstico, y si se han planificado menos encargos de los que indica el pronóstico, este último debe ser actualizado correspondientemente.

Por otro lado, la tarea de la gestión de producción es asegurar que los prerrequisitos estén disponibles para todas las tareas antes de que estas comiencen, que las adquisiciones estén yendo acorde al plan y que toda la información y recursos necesarios estén disponibles. Adicionalmente, se requiere atención a las tareas que no estén cumpliendo los objetivos de productividad, provocando que amenacen el trabajo de sus sucesoras.

3.2.7. Integración con Last Planner System

Se ha estudiado la sinergia entre ambos sistemas y se ha concluido que son complementarios, ya que LBMS es un sistema técnico que utiliza información estructurada para mejorar la calidad de la planificación y el control de proyectos, mientras que LPS se enfoca más en el proceso social de planificación y compromiso (Seppänen, Ballard, & Pesonen, 2010).

Dichos autores propusieron un proceso para combinar ambos sistemas, el cual consiste en, para la planificación maestra, utilizar la LBS definida para el proyecto en conjunto con las tasas de producción y cantidades disponibles para evaluar las tasas de producción requeridas, ayudando a identificar a los contratistas con mayores requerimientos de recursos, los que podrían eventualmente ser un cuello de botella. Las fechas de este plan maestro sólo se utilizan para establecer hitos realistas, y este plan será gradualmente reemplazado por los planes de fase.

Para esos planes de fase, se propone un proceso de dos reuniones y recolección de datos como tarea entre reuniones. La primera de estas se puede organizar exactamente como una reunión de planificación de fase de LPS, salvo que las duraciones no deben ser discutidas. Entre reuniones, cantidades y tasas de producción son obtenidas para las tareas y ubicaciones identificadas. Antes de la segunda reunión, las tareas deben ser formadas de tal manera que modelen correctamente las entregas entre contratistas. Todas las tareas son programadas con una cuadrilla óptima, lo que causará que las tasas de producción estén desalineadas. Estas se alinean en la segunda reunión por todo el equipo, registrando todos los cambios de tasas como compromisos. Finalmente, se planifican los amortiguadores entre tareas, preguntándole a los participantes qué amortiguador sería el correcto para absorber la variación.

Para el *look-ahead*, se propone actualizar el progreso con LBMS semanalmente, lo que actualizará el pronóstico. Luego, ese pronóstico se utiliza en conjunto con las acciones de control propuestas como fuentes de información para la reunión de *look-ahead*.

Finalmente, para la planificación semanal, se vuelve a utilizar el pronóstico de LBMS como información para que los últimos planificadores puedan añadir detalles a las asignaciones, y finalmente comprometerse al plan semanal. Si los compromisos son menos que el pronóstico, este último debe ser actualizado para ver qué sucederá si la tasa de producción no se incrementa a futuro. LBMS también contribuye con información numérica valiosa para el análisis de causas.

3.2.8. Resultados esperados

Al implementar de manera correcta el sistema, se pueden obtener una serie de beneficios por sobre la planificación estándar, los que incluyen (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 426):

- *Planificación más confiable*
- *Reducción de desperdicios en trabajo y materiales*
- *Más y mejores datos e información*
- *Alerta temprana de problemas*
- *Evitar los apuros al final del proyecto, los que conllevan gastos adicionales*
- *Aumentar la productividad de la administración*
- *Confianza de los clientes en el proyecto*
- *Mejorar la calidad*
- *Mejorar la seguridad*
- *Reducción en la medición y estimación de costos*
- *Reducción en retrasos*

Si bien es difícil el asignarles un valor específico a las ganancias financieras de aplicar el sistema, de acuerdo a la experiencia se sabe que los planes se pueden comprimir usualmente un 10% sin añadir riesgo adicional y, con la implementación de un mejor control, se puede reducir un 10% adicional, quedando en un total de alrededor de 20%. Sin embargo, no es para nada recomendado apuntar a este nivel de reducciones en las primeras implementaciones, ya que para obtenerse se requiere de un sistema depurado y bien conocido, con trabajadores que tengan experiencia en el tema y sepan enfrentarse a los problemas que irán surgiendo

Además de esto, se ha observado que la productividad puede aumentar en un 20% al implementarse el trabajo continuo, pudiendo aumentar otro 20% adicional si es que el control basado en ubicaciones es completamente implementado para prevenir la congestión de ubicaciones.

Con todo esto, y considerando los costos de la implementación, que incluyen distintos factores como capacitación de trabajadores, cambios en la administración, licencias de software, desarrollo de trabajo en equipo, entre otros, se tiene que en una implementación mínima pero bien realizada se puede esperar un costo entre 0.15% y 0.3%, con ganancias que van entre el 2% y el 10%, si es que se consideran los beneficios a largo plazo (Kenley & Seppänen, 2010, pág. 427).

3.3. Protocolos de prevención

Existe una gran cantidad de acciones que se pueden tomar para prevenir contagios de COVID-19, siendo las tres principales descritas en profundidad en la sección 2.1.4, pero estando estas tres lejos de ser las únicas opciones factibles. Enfocándose tan solo en las medidas aplicables a obras de construcción, se pueden encontrar una gran cantidad de manuales, protocolos y prácticas recomendadas elaborados por diversas organizaciones de todas partes del mundo. Comenzando por la más atinente a la construcción en el país, la Cámara Chilena de la Construcción elaboró un protocolo de acciones preventivas que las clasifica en 7 categorías, que son:

- *Acciones a tomar por las empresas*
- *Acciones para el ingreso a la obra o faena*
- *Acciones en vestidores, baños y duchas*
- *Acciones al interior de la obra o faena*
- *Acciones en horarios de almuerzo y colaciones*
- *Acciones a la salida de la obra o faena*
- *Acciones ante trabajadores más vulnerables*

Para dilucidar qué medidas de prevención son las que mejor sinergizan con el sistema LBMS se realizó un proceso similar al utilizado para obtener qué partes del método son más relevantes. Se volvió a usar una matriz de comparación, esta vez para contrastar las componentes de LBMS seleccionadas con una serie de medidas preventivas obtenidas de varios manuales utilizados, específicamente de manuales de la Cámara Chilena de la Construcción, del CDC estadounidense (Centers for Disease Control and Prevention) y del SWA australiano (Safe Work Australia). El detalle se presenta en el anexo A.2.

Como se puede ver en la Tabla A.2, son pocas las medidas que efectivamente tienen sinergia con LBMS. Esto es razonable si se considera que la implementación de LBMS sólo afecta directamente al trabajo en obra, por lo que todas las medidas preventivas que no se aplican directamente a este trabajo no se verán afectadas. Si se considera la clasificación mostrada anteriormente, las medidas en obra corresponden tan solo a una de las siete categorías, lo que implica que estas son una minoría. Además de esto, que se consideren sólo las de dicha categoría no implica que todas las medidas de esa categoría efectivamente tengan sinergia con el sistema, ya que claramente habrán algunas que no se vean mayormente afectadas por su implementación.

Es importante recalcar que el hecho de que no tengan una relación sinérgica no implica que no se puedan aplicar en conjunto, significa simplemente que LBMS no potencia

ni ayuda en su aplicación, por lo que estas medidas se seguirán aplicando de la manera tradicional, bajo ningún motivo se dejarán de lado.

La primera medida en la que sí se tiene una relación es mantener una distancia interpersonal mínima de 1 metro siempre que sea posible. La implementación de LBMS directamente ayudaría a evitar el contacto entre cuadrillas, ya que siempre se busca que sólo una cuadrilla trabaje en cada lugar al mismo tiempo. Además de esto, si se quiere ser más precavido, se puede implementar como un criterio adicional a la hora de definir la alineación de las tareas durante la planificación, y también al diseñar y asignar las tareas de detalle durante el control, que el contacto entre cuadrillas sea lo menor posible.

Otra medida a implementar es el establecimiento de cuadrillas específicas de limpieza y sanitización, lo cual se puede tratar como una tarea adicional y, debido al uso de ubicaciones, resulta mucho más fácil cerciorarse que efectivamente recorran y desinfecten todos los lugares, siendo además posible evitar que se topen con cuadrillas de trabajo si se realiza una correcta planificación y control.

LBMS también puede resultar muy útil a la hora de establecer un protocolo ante un trabajador enfermo que podría haber contagiado a otros. Debido a la información recopilada constantemente en la etapa de control, saber dónde y con quienes estuvo el contagiado es muy útil a la hora de hacer la trazabilidad para evaluar contactos estrechos y decidir si se envía a cuarentena a quienes compartieron con él.

Por último, se pueden asignar las herramientas a las distintas cuadrillas y controlar constantemente que estas no se estén intercambiando, evitando así el potencial traspaso del virus mediante estas herramientas.

Es sumamente importante tener en cuenta que no basta con tan solo establecer protocolos robustos, sino que estos se deben hacer cumplir. Se ha detectado que en obras de construcción parte de los trabajadores no respetan las medidas impuestas por la administración, y esto se debe principalmente a la falta de información y concientización de estos con respecto a la enfermedad (Olukolajo, Oyentunji, & Olulye, 2021). Es por esto que resulta de suma importancia educar y capacitar a los trabajadores sobre el COVID-19, sus formas de contagio y sus potenciales complicaciones, ya que la mejor manera de lograr que respeten las medidas es que comprendan su importancia y el por qué están ahí. Se pueden tener los mejores protocolos, pero esto no servirá de nada si es que no se respetan.

Un último aspecto a considerar es la gran importancia que tienen los espacios que no son de trabajo para la propagación de la enfermedad. Se ha detectado que los lugares comunes, como baños, duchas y comedores son igual o más importantes que los lugares de trabajo, ya que en estos se tienen mayores aglomeraciones de personas, son espacios cerrados, en muchos es necesario quitarse la mascarilla y además es más difícil hacer respetar las normas (Tonetto, y otros, 2021). Además de estos espacios, otro aspecto fundamental es el transporte de los trabajadores desde y hacia la obra, ya que estos suelen

utilizar el transporte público, donde entran en contacto con muchísimas personas en espacios cerrados.

Capítulo 4: Resumen del Manual

4.1. Información y LBS

- Dilucidar las distintas fases del proyecto junto con las actividades críticas de la secuencia constructiva.
- Obtener rendimientos históricos para las actividades, lo mismo para los tamaños de cuadrillas. Se debe buscar la mayor precisión posible.
- Realizar entrevistas a los miembros del equipo de trabajo para conocer mejor la situación. Es fundamental conocer qué tipo de experiencia tiene cada uno con metodologías de planificación basadas en ubicaciones.
- Dividir el proyecto en ubicaciones de manera jerárquica, creando varios niveles, cada uno con su respectiva división.
- En caso de ser necesario, se puede dividir un mismo nivel de maneras diferentes para acomodar de mejor manera distintas partes del proceso constructivo.
- Establecer una nomenclatura clara para las ubicaciones, idealmente basada en números, letras y colores para así permitir su fácil identificación en terreno. En base a esto, delimitar y señalar las ubicaciones en la obra para facilitar el entendimiento por parte de los trabajadores.

4.2. Planificación

- Definir la secuencia de trabajo a realizar en base a la secuencia constructiva que se quiere llevar a cabo. Esto se hace básicamente definiendo las tareas que se deben realizar, asegurándose que la escala de estas sea razonable, e intentando que todas las actividades dentro de cada tarea sean realizadas por la misma cuadrilla o contratista.
- Obtener los recursos y cantidades de trabajo a realizar en cada ubicación. Para esto se utiliza el método tradicional de planificar las tareas en unidades de tiempo basándose en los datos obtenidos anteriormente, basándose en las distintas ubicaciones delimitadas previamente.
- Obtener las tasas de producción para las distintas tareas, buscando obtener tasas que reflejen la producción sin incluir retrasos y pérdidas por problemas de

planificación. Es importante no sobreestimar estas tasas, ya que eso llevaría a un plan imposible de cumplir.

- Obtener las cuadrillas óptimas basándose en la información recopilada.
- Alinear las distintas tareas obtenidas, comenzando con una cuadrilla óptima en cada una. Esto generará un plan desbalanceado, lo que se debe ir corrigiendo mediante el uso de herramientas que permiten modificar la productividad de las tareas, alineándolas así unas con otras. Estas herramientas se encuentran descritas a fondo entre las páginas 41 y 47.
- Balancear costo y riesgo, basándose principalmente en el uso de amortiguadores entre tareas. Añadir amortiguadores tanto espaciales como temporales entre tareas para evitar interferencias, prefiriendo usar amortiguadores más grandes durante las primeras iteraciones de la implementación, donde la inexperiencia probablemente cause imprevistos.
- Verificar la factibilidad del plan, revisando que las cantidades sean adecuadas de acuerdo con la experiencia, observando gráficamente el plan para verificar que no existen amortiguadores con tamaños excesivos ni tampoco interferencias entre tareas, verificando que las cuadrillas asignadas a cada tarea tengan tamaños razonables y que la lógica entre tareas sea correcta, y asegurando que los días festivos y feriados sean considerados dentro del plan.

4.3. Control

- Monitorear el estado real de cada tarea, empleando para esto una estrategia híbrida, en donde los contratistas entreguen reportes constantemente de sus avances, complementados por un inspector que recorra las ubicaciones semanalmente para verificar. Es importante tener bien definidos los criterios que se utilizarán para medir el avance, para evitar descoordinaciones. Puede ser útil el uso de porcentajes de término en ubicaciones más grandes, usualmente en cuartos.
- Junto con el avance real, se deben monitorear también tanto las interrupciones del trabajo como el uso real de recursos, idealmente mediante un registro de los trabajadores al entrar y salir.
- Comparar los pronósticos entregados con el plan, basándose en los datos reales monitoreados. Para esto es necesario el uso de filtros en los gráficos de líneas de flujo, ya que de lo contrario estos serían muy complejos y difíciles de interpretar correctamente.

- Planificar las acciones de control a tomar ante las desviaciones enfrentadas. Para esto, se deben resolver algunas preguntas, comenzando por clasificar la desviación enfrentada, encontrar la causa de dicha desviación, y evaluar el efecto que tendrá. Con esta información se debe proceder a tomar acciones de control para remediarla.
- Evaluar las necesidades de recursos de los contratistas, solicitando a estos que avisen con antelación cualquier necesidad adicional de recursos por sobre la planificada inicialmente.
- Crear reportes de control para presentar en las reuniones semanales. Se recomienda basarse en tablas de control y gráficos de líneas de flujo, siguiendo las recomendaciones entregadas en la página 59.
- Realizar dichas reuniones semanales, enfocándose en las desviaciones que se estén experimentando en dicho momento y sus posibles soluciones. Se debe comenzar revisando las tablas de control para encontrar la razón de los retrasos que se estén teniendo, para luego pasar a discutir los gráficos de líneas de flujo. Es importante no quedarse sólo ahí, sino que también discutir la producción en las próximas 6 semanas, asegurándose que todos los prerrequisitos necesarios estén siendo cumplidos.
- Realizar la planificación detallada, consistente en actualizar las tareas existentes para que se correspondan con la nueva información obtenida. Se debe comenzar calculando las cantidades correspondientes a cada tarea a un nivel mucho más preciso que el utilizado en la planificación, y con estas cantidades decidir las tareas de detalle que describan precisamente como se realizará el trabajo. Luego se deben planificar los recursos que se le asignarán a cada tarea, procurando que el flujo de recursos y el uso de las ubicaciones sea óptimo para poder alcanzar los objetivos fijados.
- Monitorear que los prerrequisitos de cada tarea se estén cumpliendo correctamente.
- Definir encargos de producción que deben ser completados cada semana.
- Si se decide integrar LPS, se recomienda un sistema de dos reuniones semanales con recolección de dato como compromiso entre reuniones. La primera se organiza como una reunión de planificación de fase estándar, pero sin discutir las duraciones. Entre ambas reuniones se obtienen las cantidades y las tasas de producción para las tareas y ubicaciones identificadas, y finalmente en la segunda reunión se programan y alinean las tareas a realizar, incluyendo la planificación de amortiguadores de acuerdo a lo expuesto por todos los participantes.

- En el caso del *look-ahead*, utilizar el pronóstico semanal entregado por LBMS como fuente de información fundamental para las reuniones. El mismo pronóstico se debe utilizar para la planificación semanal.

4.4. Medidas de prevención

- Planificar el trabajo considerando una separación suficiente entre cuadrillas para evitar contacto. Se puede añadir esto como criterio a la hora de realizar el plan.
- Controlar que efectivamente este uso de las ubicaciones se esté respetando, y que no existan contactos innecesarios entre cuadrillas.
- Establecer la desinfección de lugares de trabajo como una tarea a la hora de planificar, asignando cuadrillas a este rol que se encarguen de recorrer las ubicaciones en las que se trabajará en cada momento.
- Controlar que estas cuadrillas estén cumpliendo de buena manera su labor, y que están desinfectando sólo los lugares donde se trabajará cada día para evitar desperdicios.
- Ante un caso de contagio confirmado o altamente sospechoso, utilizar los datos del control basado en ubicaciones para saber con qué otros trabajadores tuvo contacto durante los días previos.
- Controlar la entrega de herramientas a las distintas cuadrillas para cerciorar que no se estén compartiendo.

Capítulo 5: Resultados y Conclusiones

5.1. Objetivos y resultados

En este trabajo se propone una metodología de implementación de LBMS que incorpora medidas de prevención de COVID-19 mediante la creación de un manual de implementación que detalla los pasos a seguir para una correcta adopción de estos, además de una selección mediante matriz de comparación de las partes que más beneficios entregan para implementar. Todo esto se encuentra basado en la revisión bibliográfica realizada. Así, se puede concluir que el resultado obtenido es efectivamente el esperado, y que el objetivo principal se cumplió parcialmente ya que, si bien se propuso la metodología para la implementación, esta se encuentra puramente basada en la literatura existente y no respaldada por trabajo experimental como se había propuesto en un inicio. Esto es debido a que no se pudo realizar el caso de estudio planificado debido a problemas de la empresa constructora encargada del proyecto en donde se realizaría la implementación.

5.2. Conclusiones

Con respecto a la implementación de LBMS como sistema de planificación y control para proyectos de construcción, se concluye, primero, que es un sistema con mucho potencial para entregar beneficios a constructoras que deseen aplicarlo, principalmente asociados a una mayor productividad, menor costo de proyectos, mejor y más confiable planificación y la capacidad de anticiparse y corregir problemas que vayan surgiendo durante la producción. Es un sistema completo y robusto que cuenta con variadas herramientas para solucionar problemas y que ha sido probado y utilizado con éxito en varios lugares del mundo, principalmente en Finlandia. Entrega herramientas que no se encuentran en el método de planificación tradicional que resultan muy útiles si se les logra sacar todo el provecho, principalmente asociadas a la predicción de futuros problemas durante el control del proyecto mediante el pronóstico, permitiendo tomar acciones correctivas antes de que se alcance a manifestar la complicación.

Pese a todo lo recién mencionado, la implementación del sistema viene con contras. Resulta difícil comenzar a utilizarlo ya que requiere capacitación y un cambio de mentalidad de todos los miembros del equipo de trabajo, incluyendo a los contratistas utilizados. Desde enseñar a los trabajadores a cambiar su manera de trabajar para seguir la secuencia de ubicaciones, pasando por familiarizar a los jefes de terreno con los nuevos gráficos usados para transmitir la información, hasta llegar a obtener la confianza y el respaldo de la jefatura, es un camino difícil y con muchas posibilidades de error. Es muy probable que las primeras implementaciones terminen con más errores que aciertos, ya

que es muy complejo cambiar la forma de trabajar y de pensar en tan poco tiempo, y ahí es donde se requiere del respaldo de la jefatura. Sin embargo, puede que estos no lo vean como una situación de aprendizaje para obtener beneficios en el largo plazo, sino que como un mero fracaso, lo que condena irreversiblemente la implementación.

A pesar de los contras existentes, se concluye que implementar un sistema de planificación de proyectos basado en ubicaciones es una medida favorable que entregará beneficios a las empresas que lo hagan, pero estos no llegarán inmediatamente, por lo que si se quiere implementar se debe estar dispuesto a esperar y respaldar el proceso. Los problemas enumerados no son intrínsecos a la planificación basada en ubicaciones, son principalmente causados por la enorme prevalencia del método CPM, lo que causa que todos los actores consideren más fácil y cómodo este último.

Una medida importante a tomar en cuenta es la de adquirir software especializado, ya que aumenta notablemente las capacidades y ventajas del sistema, permitiendo, por ejemplo, la integración con modelos BIM para automatizar la obtención de cantidades. Se recomienda *Vico Office*.

En cuanto a la integración de medidas de prevención, se concluye que existen beneficios a obtener al integrarlas con LBMS, pero que estos no son muchos si se considera que la gran mayoría de medidas aplicables no tienen especial sinergia con el sistema. Esto no significa ningún problema, ya que todo el abanico de buenas prácticas se puede seguir implementando como antes, por lo que comparativamente se obtienen beneficios de todas maneras. Sin embargo, estos se verán mermados por el hecho de que tanto la planificación como el monitoreo no puede tomar en cuenta cuando los trabajadores usan espacios comunes, como casinos, comedores y baños. Aquí es donde se enfrenta a un problema, ya que en estos espacios comparten trabajadores de diversas cuadrillas sin mascarillas, por lo que se deberán buscar medidas más robustas para estas zonas.

5.3. Trabajo futuro

Como recomendación para trabajo futuro se plantea la realización de un caso de estudio en el que se implemente el sistema siguiendo el manual creado, lo que permitiría evaluar empíricamente el impacto que tiene el uso del sistema de planificación basada en ubicaciones. Junto con esto, permitiría ajustar el manual de implementación en base a las experiencias en un proyecto real.

También resulta interesante la implementación de LBMS acompañado por el uso de software especializado como *Vico Office* ya que, si bien requiere inversión monetaria y capacitación, puede permitir desbloquear todo el potencial de la planificación basada en ubicaciones, facilitando tanto la implementación como la gestión y el control.

Bibliografía

- Aboubakr, H. A., Sharafeldin, T. A., & Goyal, S. M. (2020). Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: A review. *Wiley Public Health Emergency Collection*.
- Ahmed, F. (2018). *Impact Of Critical Path Method (CPM) Of Scheduling On On-Time Completion Of Transportation Projects*.
- Ahmed, M., Advani, S., Moreira, A., Zoretic, S., Martínez, J., Chorath, K., . . . Rajasekaran, K. (2020). Multisystem inflammatory syndrome in children: A systematic review. *The Lancet*.
- Alshare, A., Banerjee, S., Uddin, S. M., Albert, A., & Jaselskis, E. (2021). Early Impacts of the COVID-19 Pandemic on the United States Construction Industry. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Ammar, M. A., & Abdel-Maged, A. F. (2017). Modeling of LOB scheduling with learning development effect. *International Journal of Construction Management*.
- Andersson, N., & Christensen, K. (2007). Practical implications of location-based scheduling. *Construction Management and Economics: past, present and future*.
- Arditi, D., Tokdemir, O. B., & Suh, K. (2001). Effect of learning on line-of-balance scheduling. *International Journal of Project Management*.
- Asadi, S., Cappa, C. D., Barreda, S., Wexler, A. S., Bouvier, N. M., & Ristenpart, W. D. (2020). Efficacy of masks and face coverings in controlling outward aerosol particle emission from expiratory activities. *Nature Scientific Reports*.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Barycka, K., Szarpak, L., Filipiak, K. J., Jaguszewski, M., Smereka, J., Ladny, J. R., & Turan, O. (2020). Comparative effectiveness of N95 respirators and surgical/face masks in preventing airborne infections in the era of SARS-CoV2 pandemic: A meta-analysis of randomized trials. *PLoS ONE*.
- BBC. (2021, Junio 12). BBC. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/health-57431420>
- Billah, M. A., Miah, M. M., & Khan, M. N. (2020). Reproductive number of coronavirus: A systematic review and meta-analysis based on global level evidence. *PLoS ONE*.

- Biswas, A., Ghosh, A., Kar, A., Mondal, T., Gosh, B., & Bardhan, P. K. (2021). The impact of COVID-19 in the construction sector and its remedial measures. *Journal of Physics*.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2021, Agosto 13). *How to Protect Yourself & Others*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html>
- Cheng, Y., Ma, N., Witt, C., Rapp, S., Wild, P. S., Andreae, M. O., . . . Su, H. (2021). Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission. *Science*.
- Chu, D. K., Akl, E. A., Duda, S., Solo, K., Yaacoub, S., & Schünemann, H. J. (2020). Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*.
- Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses. (2020). The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*, 5.
- Cui, J., Li, F., & Shi, Z.-L. (2019). Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology*, 17.
- DEIS MINSAL. (2021, Septiembre 13). *Departamento de Estadísticas e Información en Salud*. Retrieved from https://informesdeis.minsal.cl/SASVisualAnalytics/?reportUri=%2Freports%2Freports%2F357a72ec-43b7-4ca9-89cb-33f4818d2ab3§ionIndex=0&sso_guest=true&sas-welcome=false
- Esa, M. B., Ibrahim, F. S., & Kamal, E. B. (2020). Covid-19 Pandemic Lockdown: The Consequences Towards Project Success in Malaysian Construction Industry. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(5).
- Gandhi, M., Beyrer, C., & Goosby, E. (2020). Masks Do More Than Protect Others During COVID-19: Reducing the Inoculum of SARS-CoV-2 to Protect the Wearer. *Journal of General Internal Medicine*.
- Grant, M. C., Geogheghan, L., Arbyn, M., Mohammed, Z., McGuinness, L., Clarke, E. L., & Wade, R. G. (2020). The prevalence of symptoms in 24,410 adults infected by the novel coronavirus (SARS-CoV-2; COVID-19): A systematic review and meta-analysis of 148 studies from 9 countries. *PLoS ONE*.
- Hansen, C. H., Michlmayr, D., Gubbels, S. M., Mølbak, K., & Ethelberg, S. (2021). Assessment of protection against reinfection with SARS-CoV-2 among 4 million PCR-tested individuals in Denmark in 2020: a population-level observational study. *The Lancet*.

- Hatoum, M. B., Faisal, A., Nassereddine, H., & Sarvari, H. (2021). Analysis of COVID-19 Concerns Raised by the Construction Workforce and Development of Mitigation Practices. *Frontiers in Built Environment*.
- Howard, J., Huang, A., Li, Z., Tufekci, Z., Vladimir, Z., Westhuizen, H.-M. v., . . . Price, A. (2020). Face Masks Against COVID-19: An Evidence Review. *PNAS*.
- Howard, J., Huang, A., Li, Z., Tufekci, Z., Zdimal, V., Westhuizeng, H.-M. v., . . . Fridmank, L. (2021). An evidence review of face masks against COVID-19. *PNAS*.
- Hui, D. S., Azhar, E., Madani, T. A., Ntoumi, F., Kock, R., Dar, O., . . . Petersen, E. (2020). The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health – The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *International Journal of Infectious Diseases*.
- Iftmie, S., López-Azcona, A. F., Vallverdú, I., Hernández-Flix, S., Febrer, G. d., & Parra, S. (2021). First and second waves of coronavirus disease-19: A comparative study in hospitalized patients in Reus, Spain. *PLoS ONE*.
- Johns Hopkins University. (2021, Septiembre 11). *Johns Hopkins University of Medicine Coronavirus Research Center*. Retrieved from <https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality>
- Jones, N. R., Qureshi, Z. U., Temple, R. J., Larwood, J. P., Greenhalgh, T., & Bourouiba, L. (2020). Two metres or one: what is the evidence for physical distancing in covid-19? *The BMJ*.
- Kankainen, J., & Sandvik, T. (1993). *Controlling a Construction Project*. Helsinki: Confederation of Finnish Construction Industries.
- Karanikolos, M., & McKee, M. (2020). How comparable is COVID-19 mortality across countries? *Eurohealth*, 26(2).
- Kelley, J. E., & Walker, M. R. (1959). Critical-Path Planning and Scheduling. *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. Abingdon, Inglaterra: Spon Press.
- Levin, A. T., Hanage, W. P., Owusu-Boaitey, N., Cochran, K. B., Walsh, S. P., & Meyerowitz-Katz, G. (2020). Assessing the age specificity of infection fatality rates for COVID-19: systematic review, meta-analysis, and public policy implications. *European Journal of Epidemiology*.
- Li, Y., Liang, M., Gao, L., Ahmed, M. A., Uy, J. P., Cheng, C., . . . Sun, C. (2021). Face masks to prevent transmission of COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Infection Control*.

- MINSAL. (2021). *Reporte Diario COVID-19 13/9/2021*. Santiago de Chile.
- Murthy, S., Gomersall, C. D., & Fowler, R. A. (2020). Care for Critically Ill Patients With COVID-19. *JAMA*.
- Noorimotlagh, Z., Mirzaee, S. A., Jaafarzadeh, N., Maleki, M., Kalvandi, G., & Karami, C. (2021). A systematic review of emerging human coronavirus (SARS-CoV-2) outbreak: focus on disinfection methods, environmental survival, and control and prevention strategies. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Oglivie, B., Solís-Leal, A., López, J. B., Poodle, B. D., Robinson, R. A., & Berges, B. K. (2021). Alcohol-free hand sanitizer and other quaternary ammonium disinfectants quickly and effectively inactivate SARS-CoV-2. *Journal of Hospital Infection*.
- Olukolajo, M. A., Oyentunji, A. K., & Olulye, I. B. (2021). Covid-19 protocols: assessing construction site workers compliance. *Journal of Engineering Design and Technology*.
- Organización Mundial de la Salud. (2020, Diciembre 13). *Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?* Retrieved from World Health Organization: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>
- Organización Mundial de la Salud. (2021, Septiembre 2). *Tracking SARS-CoV-2 variants*. Retrieved from World Health Organization: <https://www.who.int/en/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants/>
- Organización Mundial de la Salud. (2021, Septiembre 9). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. Retrieved from World Health Organization: <https://covid19.who.int/>
- Peckham, H., Grujter, N. M., Raine, C., Radziszewska, A., Ciurtin, C., Wedderburn, L. R., . . . Deakin, C. T. (2020). Male sex identified by global COVID-19 meta-analysis as a risk factor for death and ICU admission. *Nature Communications*.
- Qureshi, A. I., Baskett, W. I., Huang, W., Lobanova, I., Naqvi, S. H., & Shyu, C.-R. (2021). Reinfection With Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in Patients Undergoing Serial Laboratory Testing. *Clinical Infectious Diseases*.
- Ross, J. M., Seiler, J., Meisner, J., Tolentino, L., Jiang, W., Tseng, A., . . . Guthrie, B. L. (2020). *Summary of COVID-19 Long-term Health Effects: Emerging Evidence and Ongoing Investigation*. Washington Department of Global Health.
- Sah, P., Fitzpatrick, M. C., Zimmer, C. F., Abdollahi, E., Juden-Kelly, L., Moghadas, S. M., . . . Galvani, A. P. (2021). Asymptomatic SARS-CoV-2 infection: A systematic review and meta-analysis. *PNAS*.
- Schoeman, D., & Fielding, B. C. (2019). Coronavirus envelope protein: current knowledge. *Virology Journal*.

- Seppänen, O., & Aalto, E. (2005). A Case Study of Line-of-Balance Based Schedule Planning and Control System. *Proceedings IGLC-13*.
- Seppänen, O., & Kankainen, J. (2004). Empirical Research on Deviations in Production and Current State of Project Control. *The 12th International Conference of Lean Construction*. Elsinore.
- Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. *Lean Construction Journal*, 43-54.
- Seppänen, O., Evinger, J., & Mouflard, C. (2014). Effects of the location-based management system on production rates and productivity. *Construction Management and Economics*.
- Tabatabaeizadeh, S.-A. (2021). Airborne transmission of COVID-19 and the role of face mask to prevent it: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Medical Research*.
- Tonetto, M. S., Bonesi, F. M., Santos, M. C., Lora, F. P., Matos, P. R., Lantelme, E. M., . . . Neto, J. d. (2021). *Controle da propagação da COVID-19 em canteiros de obras*. Porto Alegre: UFRGS.
- Wells, W. F. (1955). Airborne Contagion and Air Hygiene: An Ecological Study of Droplet Infections. *JAMA*.
- Zhou, P., Yang, X.-L., Wang, X.-G., Hu, B., Zhang, L., Zhang, W., . . . Wang, X. (2020). A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*.

Anexos

Anexo A: Matrices de Comparación

A.1. Matriz de selección de componentes LBMS

Para decidir qué componentes del sistema LBMS son los que más importancia e impacto tienen a la hora de la implementación, se realizó una matriz de comparación que relaciona, por un lado, los distintos componentes del sistema especificados en la sección 2.2.4 con, por el otro, diversos beneficios y ventajas que otorga la implementación de LBMS en un proyecto. Para obtener dichos beneficios y también las relaciones entre ambas partes se utilizó la literatura existente, lo que permite justificar teóricamente las elecciones realizadas.

La matriz se encuentra distribuida de manera que en la primera columna se encuentran los 8 componentes del método LBMS, y en la primera fila las potenciales ventajas entregadas. Por motivos de visibilidad y espacio, estas ventajas se encuentran representadas por letras mayúsculas, encontrándose las equivalencias correspondientes a continuación:

- A: Dar continuidad al flujo de trabajo
- B: Asignar descansos planificados o múltiples cuadrillas para alcanzar el objetivo
- C: Ajustar productividad para alcanzar producción rítmica
- D: Permitir buffers de tiempo entre tareas
- E: Reducir la interferencia entre distintas tareas
- F: Evitar tiempos muertos y esperas
- G: Prevenir encadenamiento de retrasos
- H: Dar plena confianza en el plan, especialmente a los contratistas
- I: Permitir flexibilidad y adaptabilidad
- J: Obtener un plan que balancee riesgo y tiempo total
- K: Entregar un método gráfico y fácil de usar
- L: Permitir un seguimiento continuo con datos actualizados
- M: Tener una mayor y más eficiente disponibilidad de materiales y equipos
- N: Simplificar el proceso de planificación para proyectos repetitivos

Tabla A.1: Matriz de comparación ventajas/componentes (Elaboración propia)

Ventajas Componentes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
LBS	1				2									
Cantidades						3			4			5	6	7
Estimaciones												8		9
Planificación	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20	21
Control	22	23	24	25	26	27	28	29	30			31	32	
Reportes											33	34		
Gestión de calidad	35											36		
Control financiero	37		38		39	40	41							

Como se puede ver en la matriz, las relaciones entre componentes y ventajas están indicadas cada una con un número, el cual se utilizará a continuación para entregar las razones de cada relación, justificando cada una de manera teórica. En caso de que un cuadro se encuentre vacío, eso significa que dicho componente no entrega la ventaja respectiva.

- 1: La LBS se debe realizar de manera que los niveles medios de jerarquía de manera que el flujo de trabajo se pueda planear de manera continua, como pisos en edificios. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 393)
- 2: La LBS se debe realizar de manera que los niveles de baja jerarquía sean lo suficientemente pequeños como para que solo un "trade" se pueda realizar a la vez, como departamentos en edificios. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 393)
- 3: Las cantidades presupuestadas son contrastadas con las reales en la etapa de control, utilizando la línea de base y el plan actual respectivamente, y si se observan diferencias que causen que algunas tareas se salgan del plan se pueden tomar acciones de control para volverlas a poner en este. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404)
- 4: El tener las cantidades registradas por ubicación permite, mediante la comparación entre las cantidades planificadas y las reales en la etapa de control, tomar medidas de control a tiempo ante cualquier eventualidad que pueda comprometer el plan. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404, 405)
- 5: En la etapa de control, se tienen, por una parte, las cantidades inicialmente presupuestadas en la línea de base, y por otra las cantidades reales en plan actual. Esto permite contrastarlas para tomar acciones de control en caso de ser necesario. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 403, 404)
- 6: Al utilizar las cantidades en el control, es posible ir monitoreando constantemente cuantos materiales y equipos se requerirán en cada ubicación. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 399, 402)
- 7: Existen softwares como *Vico Office* que permiten extraer las cantidades directamente del modelo BIM del proyecto, incluyendo varios formatos de los programas más utilizados como *Revit*, *Tekla* o *ArchiCAD*. Esto permite tener en minutos las cantidades en base a la LBS, de manera precisa y más confiable. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 394)
- 8: El realizar la estimación de costos basado en la LBS permite tener información más útil a la hora de realizar el seguimiento y control de costos del proyecto. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 394)

- 9: Combinando las cantidades obtenidas con la información de costos de las tareas se pueden obtener estimaciones de costos de manera rápida. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 394)
- 10: Al realizar la planificación mediante líneas de balance, se pueden ordenar las tareas y cuadrillas para obtener un flujo de trabajo continuo y sin interrupciones gráficamente. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 395)
- 11: A la hora de realizar la planificación, en base a los datos de productividad extraídos se pueden asignar los recursos necesarios para así conseguir completar cada tarea en el tiempo que se requiera. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 395)
- 12: La planificación se realiza con estimaciones de productividad, por lo que gráficamente se pueden modificar los recursos y el orden de las tareas para así generar producción rítmica. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 395)
- 13: Al realizar la planificación, junto con la lógica CPM para ordenar las tareas, se agregan buffers de tiempo que buscan proteger la planificación absorbiendo pequeñas variaciones en producción. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 396)
- 14: Gráficamente, gracias a las líneas de balance, se puede observar directamente cuando tareas se interfieren entre ellas, por lo que es sencillo realizar cambios para así evitarlo. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 396)
- 15: En las líneas de balance se pueden observar directamente espacios en los que no se está trabajando, por lo que es posible realizar cambios que permitan utilizar estos espacios y así tener un plan más eficiente. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 396)
- 16: La planificación permite simular los principales riesgos que amenazan con causar retrasos, por lo que se puede crear un plan que tenga suficientes buffers como para prevenir que un inconveniente termine generando muchos más retrasos. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 398, 401)
- 17: Ya que el sistema de planificación permite evaluar riesgos y generar un plan acorde a estos, el resultado de la planificación resulta mucho más confiable para todos, incluyendo a los contratistas, los que pueden confiar en que, si cumplen con lo planificado, no sufrirán retrasos mayores por causas externas. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 398)

- 18: El sistema de planificación permite modelar los efectos asociados a varios riesgos potenciales que podrían afectar al plan, por lo que esta simulación se utiliza para así realizar un plan que pueda reaccionar en caso de que algunos de estos eventos ocurran. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 398)
- 19: La planificación basada en la ubicación permite utilizar el sistema de planificación para identificar y reaccionar a cambios en la producción, por lo que los riesgos pueden simularse y, en base a eso, crear un plan que contenga suficientes buffers como para mitigar los riesgos y así conducir a una planificación más confiable. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 398, 401)
- 20: Se utilizan las distintas jerarquías de las ubicaciones de la LBS como base para la adquisición y entrega de materiales. Ya que se conocen las cantidades necesarias para cada ubicación, las entregas se pueden utilizar siguiendo el JIT y así controlar el trabajo de las cuadrillas, ya que los trabajadores serán incapaces de abandonar la secuencia planificada si no se tienen los materiales necesarios en dicha ubicación. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 397)
- 21: El utilizar la tarea como unidad de planificación, la que agrupa varias actividades, junto con la posibilidad de utilizar plantillas previamente generadas en base a proyectos similares permite reducir y simplificar el proceso de creación de un plan de trabajo. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 397)
- 22: El pronóstico entregado permite tomar acciones de control para así mantener el flujo de trabajo continuo. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404)
- 23: En el monitoreo del progreso incluye el ir evaluando la productividad real de las cuadrillas, y en base a esto se realiza el pronóstico de cómo se realizará la tarea realmente. En caso de que la productividad real difiera con la planificada, se pueden tomar medidas para que la tarea se termine en el tiempo planificado. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404, 405)
- 24: El monitoreo del progreso incluye obtener la productividad real de las cuadrillas asignadas, por lo que en base a esta se pueden tomar acciones de control para mantener la producción rítmica si es que la productividad real no es igual a la planificada. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 405)
- 25: El pronóstico basado en los datos reales entrega predicciones de los efectos causados por las desviaciones del plan, por lo que se pueden usar dichas predicciones para hacer cambios oportunos y mantener buffers razonables entre tareas. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404)
- 26: En base al pronóstico, se pueden tomar acciones de control que permitan evitar eventuales interferencias causadas por desviaciones del plan. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404)

- 27: Gracias al pronóstico, se pueden tomar acciones de control para evitar posibles tiempos muertos, como por ejemplo modificar el número de trabajadores o cambiar la fecha de inicio de las tareas siguientes. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 405)
- 28: Al tomar acciones de control, se ajusta el pronóstico, no el plan inicial, esto con el objetivo de dejar evidencia que hubo una desviación y así no caer en una falsa sensación de seguridad, lo que evita seguir cayendo en más retrasos. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 405)
- 29: Las acciones de control se deben tomar en conjunto con las personas encargadas de las tareas a modificar, lo que permite que participen directamente y se comprometan con las decisiones finalmente tomadas. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404)
- 30: Mediante el monitoreo de progreso y el pronóstico se obtienen predicciones en base al avance real del proyecto, lo que permite tomar acciones de control a tiempo y con información suficiente para así entregar respuestas rápidas y efectivas ante cualquier eventualidad (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404, 405)
- 31: A medida que el proyecto avanza, se van ingresando los datos reales, y en base a estos se realizan el monitoreo de progreso y el pronóstico, los que permiten tomar decisiones a tiempo e informadas. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 404, 405)
- 32: Los datos ingresados durante el proyecto no son sólo de productividad, sino que también se pueden ingresar las cantidades realmente utilizadas. Con estos datos es posible tomar acciones de control para corregir cualquier problema en cuanto a equipos y materiales. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 402)
- 33: El método contempla el uso tanto de cartas Gantt tradicionales, como de líneas de balance y tablas de control. Las cartas Gantt permiten una mejor aproximación al método, ya que son las más familiares. Por otro lado, líneas de balance y tablas de control permiten comunicar mucha información de manera simple y rápida, permitiendo entregar mucha información. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 405, 406)
- 34: Las líneas de balance y las tablas de control permiten entregar de manera simple y clara tanto la predicción de la etapa de Control como las acciones de control a tomar, por lo que se facilita mucho la tarea de mantener a todo el equipo actualizado con respecto al estado real del proyecto y a las decisiones tomadas. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 405, 406)
- 35: El realizar inspecciones de calidad constantemente permite asegurarse de que las cuadrillas estén trabajando correctamente y respetando la secuencia establecida, y por tanto manteniendo un flujo constante de trabajo. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 421)

- 36: Establecer un sistema de aseguramiento de calidad que incluya responsabilidad de cuadrillas sobre las distintas ubicaciones permite ir corroborando periódicamente que estas estén cumpliendo con los requerimientos y secuencia requeridas. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 421)
- 37: El pago por ubicaciones completadas de acuerdo al plan asegura que los contratistas se ciñan al plan realizado, manteniendo la productividad y la secuencia de las tareas, lo que permite que el flujo de trabajo se mantenga continuo como se planificó. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 407)
- 38: Con los métodos de pago tradicionales, para los contratistas es más conveniente comenzar con todas las tareas fáciles y dejar las más complicadas para el final, lo que hace que se comience trabajando muy rápido pero se termine muy lento. Mediante el pago por ubicaciones completadas de acuerdo al plan se asegura que estos deban seguir el ritmo planificado. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 407)
- 39: Ya que de acuerdo al método CPM a un contratista sólo se le exige que debe terminar en el tiempo estipulado, y se deja a su cargo el cómo, este podría trabajar de manera más rápida que lo planificado, lo que hará que interfiera con tareas que lo preceden. El pagar por ubicaciones completadas siguiendo el plan evita esto, ya que deberán ceñirse al ritmo planificado. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 407)
- 40: Los métodos CPM actuales sólo requieren que los contratistas completen las tareas en la fecha estipulada, quedando completamente a su cargo el cómo lograrlo. Esto puede generar problemas si es que un contratista trabaja de manera más lenta de lo programado, ya que posiblemente impacte a otras tareas de otros contratistas. Mediante los pagos por ubicación completada se puede prevenir esto. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 407)
- 41: Mediante el pago por ubicaciones completadas siguiendo el plan, se evita que los contratistas rompan con lo planificado, lo que afectaría a otras labores y podría desencadenar retrasos múltiples. (Kenley & Seppänen, 2010, p. 407)

A.2. Matriz de selección de medidas preventivas

Una vez realizada la selección de los componentes de LBMS que se utilizarán en la implementación, se procede a realizar otra matriz de comparación para encontrar las relaciones sinérgicas entre dichos componentes y las distintas medidas de prevención que se adoptarán.

La estructura es muy similar a la de la matriz anterior, donde en la primera columna se encuentran los 4 componentes seleccionados, y en la primera fila una serie de medidas preventivas obtenidas de los distintos manuales consultados. Al igual que antes, estas últimas se encuentran representadas por letras por razones de espacio. Las equivalencias son las siguientes:

- A: Uso constante y correcto de mascarillas
- B: Horarios de ingreso y salida de obra diferidos
- C: Monitoreo de trabajadores ante posibles síntomas
- D: Lavado constante de manos
- E: Desinfección de equipos y herramientas
- F: Trazado ante un caso positivo para obtener contactos estrechos
- G: Turnos para uso de comedores y duchas
- H: Evitar saludos con contacto directo
- I: Toma de temperatura al entrar a la obra
- J: Establecer cuadrillas de sanitización
- K: Prohibir el préstamo de herramientas
- L: Reducir el número de reuniones en lugares cerrados
- M: Establecer barreras para asegurar distanciamiento en lugares comunes
- N: Privilegiar el uso de buses de acercamiento y *carpooling*
- O: Informar y capacitar a los trabajadores en prevención de COVID-19
- P: Mantener siempre que sea posible una distancia interpersonal de 1 metro

Tabla A.2: Matriz de comparación medidas/componentes (Elaboración propia)

Medidas Componentes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
LBS																
Planificación										1						2
Control						3				4	5					6
Reportes																

Al igual que en la matriz de comparación anterior, las relaciones entre componentes se encuentran representadas por números, y serán especificadas a continuación:

- 1: Al momento de planificar, se puede asignar la sanitización de los lugares de trabajo como una tarea más, asignando una cuadrilla que recorra las ubicaciones en las que se trabajará.
- 2: Se pueden planificar las tareas asegurando que las distintas cuadrillas no se encuentren en ninguna ubicación, limitando así el contacto entre estas al mínimo necesario para realizar el trabajo.
- 3: Se puede utilizar el monitoreo de cuadrillas para determinar exactamente en qué ubicaciones estuvo el contagiado, y con qué otros trabajadores.
- 4: Mediante el control basado en ubicaciones, se puede asegurar que la cuadrilla de sanitización esté realizando su labor correctamente.
- 5: La asignación de herramientas se puede realizar de acuerdo a cuadrillas, y monitorear que estas se estén respetando.
- 6: Utilizando el control basado en ubicaciones, se puede monitorear que las cuadrillas estén efectivamente respetando las ubicaciones asignadas.

Anexo B: Ejemplo de Entrevistas

A continuación, se presenta una ronda real de entrevistas realizadas a varios miembros de una constructora que se encontraban a cargo de la construcción de un edificio residencial. El objetivo de esto es entregar un ejemplo de qué tipo de información es posible recopilar mediante este mecanismo. Por motivos de privacidad, todos los nombres de los entrevistados han sido alterados.

1º: Juan Araya, Administrador de Obras

- Constructor civil, lleva 10 años en la empresa.
- Actualmente no llevan reuniones de planificación diarias, tienen planeado empezar el próximo mes.
- Tienen reuniones semanales de planificación intermedia, realizadas los miércoles a las 9:30.
- El proyecto lleva 4% de avance y actualmente se encuentran en subterráneos y fundaciones. Apunta a terminar en 16 meses a partir del 15/2/2021.
- Actualmente se encuentra todo sectorizado en la planificación de la construcción.
- Comenta lo engorroso de saber quién es quién dentro de las organizaciones de la investigación.
- Motivado con trabajar en investigación y proyectos.
- Comenta lo difícil que es tener sesiones extensas.
- Importan los resultados y cuantificar. Coordinar adecuadamente.
- Hay modelo BIM pero no hay coordinador BIM.
- Menciona que Ernesto tiene todo planificado por sectores.

2º: Ernesto Domínguez, Planificador

- Ingeniero civil industrial, lleva una semana en el proyecto y este es su primer proyecto en altura.
- Utilizan *Microsoft Project* y *Pro Planner* para controlar el proyecto.
- Hasta ahora no han tenido ningún problema con los proveedores y la mano de obra.
- Utilizan una versión adaptada de *Last Planner System*, consta de planificaciones semanales, *look-ahead*, anexan lista de control diario para reducir variabilidad durante la semana. Casi con supervisor como punta de lanza.
- Hacen *pull planning* de cada actividad.
- No planifican la semana en el *look-ahead*, sino que usan la reunión semanal para ir evaluando los indicadores del proyecto (PPC y PCR). Liberan restricciones a 8 semanas.
- El proyecto lleva tres meses de ejecución, 4% de avance.
- Llevan 2 reuniones semanales, una de planificación y otras de levantamiento de restricciones, siendo estas miércoles y viernes respectivamente.

3º: Carlos Sepúlveda, Asistente de Oficina Técnica

- Técnico en construcción, lleva 13 años trabajando en la empresa.
- No tiene experiencia en Lean / LPS
- Buena experiencia en el proyecto hasta ahora
- Casi 4% de avance
- Tienen el proyecto BIM, pero en la práctica no lo utilizan mucho
- Si hay pedidos se ven con terreno y bodega.
- Se cambió de proveedores, se privilegió a los que tienen mejor disponibilidad y frecuencia.
- La comunicación es buena.
- Han estado trabajando en *Last Planner System* con Ernesto, el manejo de indicadores es clave.

- Tienen el proyecto BIM pero no lo utilizan en la práctica, han tenido inducciones pero no se ocupa mucho por permisos de usuario. Uso de BIM para sacar cortes, pasadas, vistas para terreno, no han ocupado cubicaciones BIM.
- Tienen acceso a *Pro Planner*.
- Programación inicial en *Project*, los costos se ven en *Presto* y se van ajustando a medida que lo van viendo con el equipo.
- Orden de partidas lo calibra el equipo completo, administrador, proyecto, oficinas técnicas, pedidos con bodega, etc.
- Todos los pedidos internacionales o de importación internacional ya se están gestionando para recibir y tener stock.
- Las reuniones se hacen en sala del administrador. Cada uno tiene su sector en la pizarra.
- El control se hace una vez a la semana.
- Tienen curvas en hoja semanal de hormigón y mano de obra.

4º: Consuelo Mardones, Jefa de Oficina Técnica

- Constructora civil, tiene 7 años de experiencia, comenzó a trabajar en la empresa en diciembre de 2020.
- Las Sesiones industrialización son de 11:30 a 13:00 hrs.
- Proyecto pensado para terminar en mayo 2022
- Miden avance a través de *Pro Planner* todos los jueves, al jueves 13/5 llevan un 5.18% real vs un 5.48% esperado. Para los estados de pago extraen los datos del *Pro Planner* y hacen transformación, programa considera solo avance físico.
- Se van publicando semana a semana los avances, pero también se pueden consultar directamente en la plataforma.
- El sistema no tiene cargados los gastos generales, solo los físicos. Por esto se debe transformar la información de gastos para los estados de pago, no se pueden extraer directamente (hecha por Ernesto).

- Hay 3 reuniones de planificación semanales, lunes y viernes planificación semanal donde generan los compromisos, miércoles intermedias donde revisan programa y restricciones.
- El método propio de planificación aun no le es muy familiar por ser nueva en la empresa. Han tenido capacitaciones a nivel de grupo para dicho método (capacitaciones de gestión visual, gestión por compromisos, etc.)
- La pandemia ha afectado bastante la incorporación del método y también los rendimientos necesarios para cumplir con el plazo inicial.
- Tienen las cubicaciones por piso, pero contemplado el avance de obra gruesa por ciclos de cada elemento (muros, losas, fundaciones, etc.).
- Se coordina con el jefe de terreno todo el tema de los ciclos.
- Solo trabajan planificación rítmica en terminaciones
- La comunicación es muy fluida pese a que no estén todos los miembros físicamente en la obra, siente que todos tienen buena disposición y están dispuestos siempre a ayudarse.
- Principal indicador pedido por la gerencia: avance real vs esperado físico y financiero. También tienen como indicador el cumplimiento de compromisos y ambas curvas S.

5º: Daniel Covarrubias, Prevencionista de Riesgos

- Técnico en prevención de riesgos, lleva 9 años en la empresa.
- Protocolos a implementar: locomoción para trabajadores, *carpooling* y que trabajadores llenaran documentación. Implementaron protocolo CChC. Tenían un protocolo propio, el que luego se fusionó con el de la CChC.
- Cooperación con trabajadores fue clave, considera que estos están siendo responsables con las medidas.
- Distancia en comedores fue difícil ya que se bajan la mascarilla. Requieren explicación constante.
- Hormigonado de pilares: difícil que puedan mantener distancia, ya que uno vibra mientras otro afirma capacho y otro sostiene la máquina. Resulta fundamental el uso de mascarilla y el minimizar el tiempo.

- Aún están en excavación así que se hace más complicada la delimitación. Una vez tengan la primera losa pueden ordenarse más.
- Se conversó con jefes de terreno que vendrían cuarentenas, la mano de obra se puso muy escasa y los trabajadores viven en los extremos de Santiago y no podían llegar al proyecto. Independiente de que hubiera transporte, por horarios no lograban llegar.
- Delimitada la separación en fila de acceso, punto limpio con jabón, toallas y papelería, toma de temperatura, encuesta diaria mediante WOKEN.
- Aumento en tiempos de acceso. Aforo de 7 trabajadores se redujo a la mitad. Tienen sistema de turnos para entrar, uno a las 7:45, otro a las 8:00 y otro 8:15. Luego se reúnen para charlas iniciales y luego empieza la faena.
- Para almorzar también tienen sistema de turnos. Trabajador que ocupa comedor lo hace en 20 a 30 minutos y luego se va a terreno para descansar, se respeta horario de colación.
- Se pregunta al jefe de terreno qué faenas críticas tiene en bisemanal, para adelantarse a solicitar material para proteger el perímetro, líneas de vida, arnés, malla Rachel, etc.
- Sí se toma la prevención de riesgos como una restricción para avanzar en la programación de obra. Se rinde al administrador de proyecto y a gerencia de seguridad.
- Puntos de aglomeración están abordados en las instalaciones, pero es más difícil en los buses.
- Herramientas comunes tienen señaléticas que no se pueden compartir, bodega tiene que desinfectar herramientas constantemente.
- Están con 5 subcontratos, 1 subcontrato es 1 trabajador, cuando tiren losa van a subir, pero aun así son pocos. 7 u 8 enfierradores. Taller de fierro son 2, uno ayuda y otro manipula máquina.
- Ante contactos estrechos entra por la casa la partida y requerimientos de ingreso, PCR.

6º: Néstor Ibacache, Jefe de Terreno

- Comenzó como jornal, hace un año sacó técnico en construcción, lleva 8 años en la empresa.
- Ha trabajado en malls, supermercados y edificación en altura.
- Es un equipo nuevo de trabajo.
- Planta: 2800 m².
- No hay jefe de obra, trabaja directamente con los supervisores de cada elemento.
- Primera vez que trabajara con el nuevo sistema de moldajes.
- Considera que Ernesto es fundamental por sus conocimientos en temas de planificación.
- Tuvieron problemas con el hormigón, específicamente con Transex. Tuvieron que cambiar de proveedor a Polpaico, ya no hay mayores problemas.
- Le ha afectado la escasez de madera.
- Siente que el COVID le afectó en el tema de las contrataciones de trabajadores, pero han tomado las medidas necesarias y no han tenido problemas hasta ahora.
- Han escalonado las entradas y salidas para evitar aglomeraciones que causen demoras en el inicio y término del día laboral.

Anexo C: Instructivo Project

Esta es una traducción del portugués de un instructivo escrito por Humberto Vieira para utilizar líneas de balance en *Microsoft Project*. Además de la traducción se realizó una modernización del instructivo, ya que estaba basado en la edición 2007 del programa.

Para comenzar, es esencial identificar algunas características del proyecto, entre las cuales se encuentran:

- Fecha de comienzo del proyecto
- Fecha de término del proyecto
- Administrador a cargo de la ejecución
- Área a construir, volumen de hormigón a utilizar, y otras especificaciones técnicas
- Posibles equipos especiales que se requieran
- Hitos que deben ser completados durante la construcción
- Cualquier sistema de trabajo extraordinario

Estos datos se deben ingresar en la pestaña Proyecto, en la opción Información del proyecto.

Luego, corresponde seleccionar las tareas a realizar, incluyendo todas las actividades que componen cada una. Además, se debe definir su tiempo de ciclo, además de la secuencia en que deben ser realizados. Con toda esta información definida, se puede finalmente proceder a la realización de las líneas de balance.

Se deben crear los siguientes campos personalizados en la tabla de Entrada. En este caso, se usará como ejemplo el trabajo de terminaciones

- Piso
- Paquetes
- Equipo
- LB
- Empresa

Ir a Archivo>Opciones>Avanzado y tickear la opción de “Mostrar tarea de resumen del proyecto”. Ahora, ingresar las distintas tareas en orden, para un piso. Agregar las duraciones respectivas, y en la columna “Piso” colocar el número del piso correspondiente. Para cada paquete, asigne un nombre numerado en la columna “Paquetes” y un

equipo de trabajo que lo realizará en la columna “Equipo”. En la columna “LB” coloque el número referente a cada paquete, y en la columna “Empresa” coloque la empresa encargada de su realización. Finalmente, añadir las uniones lógicas entre tareas.

Luego, repetir para cada uno de los pisos.

Ir a la ventana “Diseño” y tickear las opciones “Resumir siempre barras de Gantt” y “Ocultar barras resumidas al expandir el resumen”.

Para crear un grupo que nos muestre los equipos, ir a la ventana “Agrupar por” y escoger “Equipo” en la caja de diálogo. Guarde el grupo bajo el mismo nombre (Equipo) y tickee la opción de “Mostrar en el menú”. Deben quedar agrupados los distintos equipos de la siguiente manera:

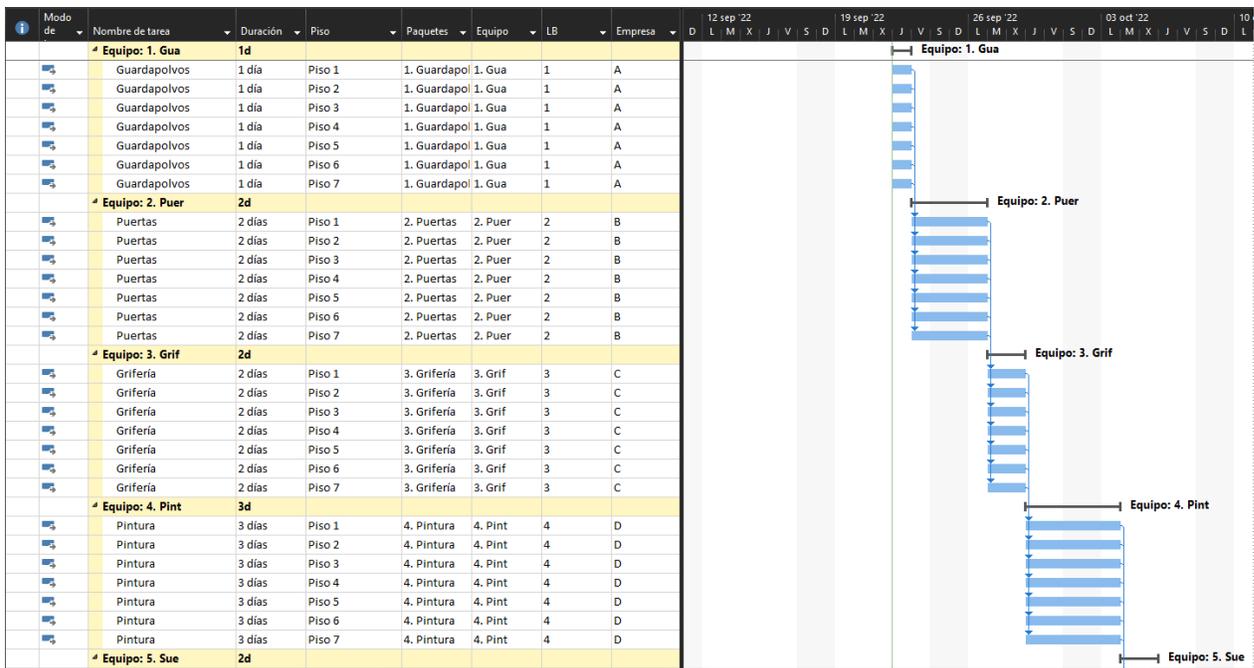


Ilustración C.1: Agrupación de equipos (Elaboración propia)

Seleccionar el autofiltro de la columna “Equipo” y sólo visualizar el primer equipo, y relacionarlos entre sí en orden. Seleccionar el segundo equipo, y en caso de que las tareas se encuentren superpuestas, seleccionarlas manteniendo presionado Ctrl en orden ascendente y luego clicar el ícono de cadena. En caso de encontrarse las actividades con espacios entre estas, seleccionarlas de manera descendente (del último piso al primero) y repetir el proceso. Esto se debe realizar con todos los equipos.

Es importante notar que en el caso en que las tareas se encuentren superpuestas, la relación a usar debe ser FC, mientras que si estas se encuentran separadas se debe usar CF.

Para visualizar las líneas de balance, ir a la pestaña “Vista”, y en “Agrupar por” seleccionar “Más grupos”. Ahí, seleccionar “Modificar” y alterar el orden para que sea descendente.

Luego, volver a “Agrupar por” y escoger “Piso” en la caja de diálogo. Seleccionar orden descendente. Guarde el grupo bajo el mismo nombre (Equipo) y ticcree la opción de “Mostrar en el menú”. Así, se debe obtener algo como:

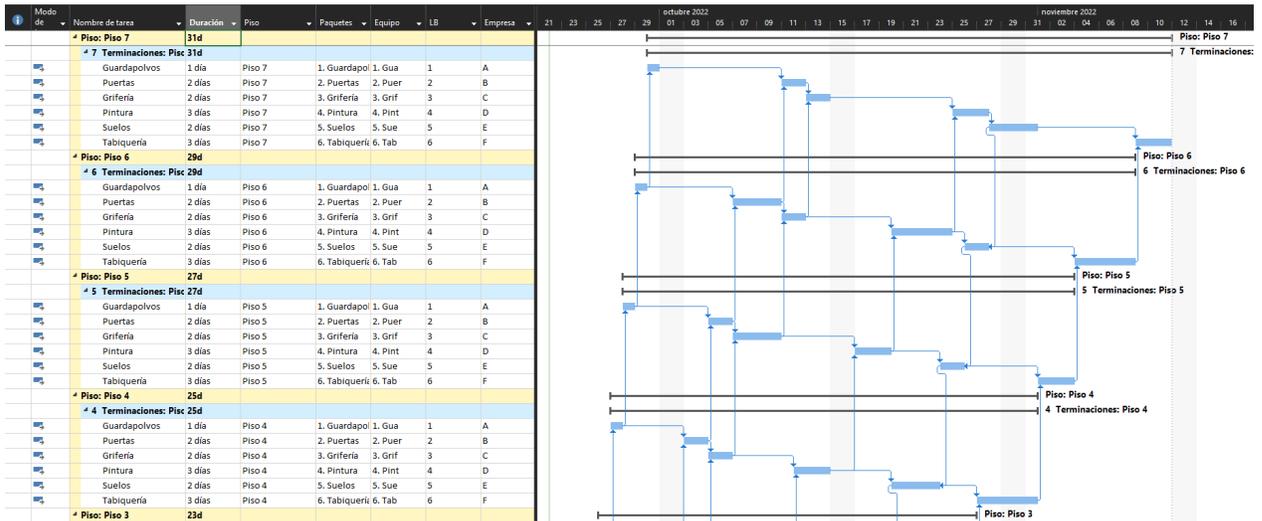


Ilustración C.2: Orden por pisos (Elaboración propia)

Después, ir a la pestaña “Vista”, en “Ordenar” seleccionar “Ordenar por”, y en “Id” seleccionar orden descendente. Así, se tendrá el orden tradicional de líneas de balance.

Con esto, se puede ver como se empiezan a formar las líneas de balance.

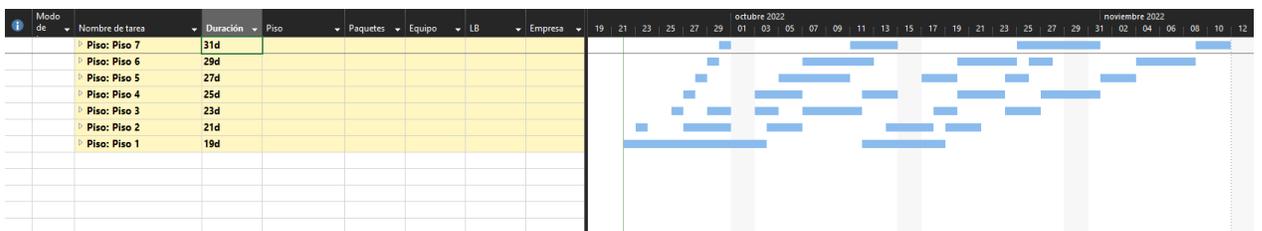


Ilustración C.3: Inicio Línea de Balance (Elaboración propia)