

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**“SINERGIA ENTRE BIM Y LAST PLANNER SYSTEM PARA LA
EFICIENTE INTEGRACIÓN CONTRATISTA-
SUBCONTRATISTA EN LA ETAPA DE EQUIPAMIENTO DE
SÓTANOS EN UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN”**

Tesis para optar el título de **Ingeniero Civil** que presenta el bachiller:

Edson Santiago Becker Arias

ASESOR: Mg. Danny Murguía Sánchez

Lima, Diciembre del 2017

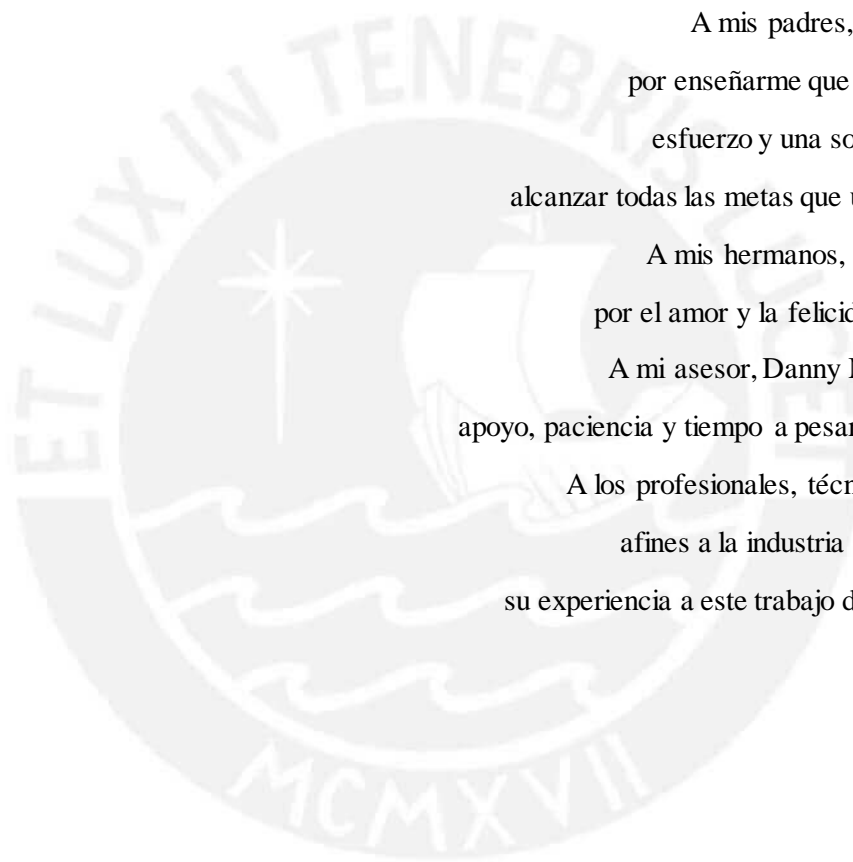
DEDICATORIA

A mis padres, Johnny y Patty
por enseñarme que con dedicación,
esfuerzo y una sonrisa se pueden
alcanzar todas las metas que uno se propone.

A mis hermanos, Bruno y Alvaro
por el amor y la felicidad de cada día.

A mi asesor, Danny Murguía, por su
apoyo, paciencia y tiempo a pesar de la distancia.

A los profesionales, técnicos y personas
afines a la industria por aportar con
su experiencia a este trabajo de investigación.



RESUMEN

El presente proyecto de investigación consta de tres partes importantes. La primera, el Marco Teórico, es el producto de una extensa revisión de la literatura existente que contempla los temas de: Gestión de la Cadena de Abastecimiento, Last Planner System y Building Information Modelling. Este capítulo tiene la finalidad de abarcar y definir todos los conceptos a utilizar en el desarrollo de la investigación.

Mediante la segunda parte, Diagnóstico de la Situación Actual, se realizó un estudio de la situación actual de la industria en un entorno geográfico limitado como es la ciudad de Lima. En él se efectuó la recopilación de información en distintos proyectos de edificaciones a través de encuestas que evaluaron aspectos generales del nivel de gestión e industrialización, contratos y diagnóstico de la procura. Los datos recopilados fueron analizados y comparados entre ellos para comprobar la existencia de tendencias observables entre los tipos de proyectos y la magnitud de empresas a las que pertenecían.

Finalmente, en la tercera parte se analiza un caso de estudio, el cual propone la implementación adecuada de LPS, en colaboración con las herramientas BIM. Mediante este, se busca comprender la sinergia entre estas dos filosofías y la manera en la que pueden aportar a la ejecución de la etapa de acabados y equipamiento de un proyecto de edificaciones.

En virtud del análisis concedido en los párrafos precedentes, este proyecto de investigación propone generar una iniciativa para el aprovechamiento de nuevas tecnologías dentro de la industria de la construcción con el fin de agregar valor al proyecto. Asimismo, busca fomentar un cambio de paradigmas para los distintos subcontratistas y contratistas generales en aras de alcanzar una mejora sustancial para la industria de la construcción en el rubro de edificaciones.

La memoria descriptiva está conformada de la siguiente manera:

- Capítulo 1: Introducción
- Capítulo 2: Marco teórico
- Capítulo 3: Diagnóstico de la situación actual
- Capítulo 4: Caso de estudio – Madre
- Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Sinergia entre BIM y Last Planner System para la eficiente integración contratista-subcontratista en la etapa de equipamiento de sótanos en un proyecto de edificación

Área : Construcción y Gestión

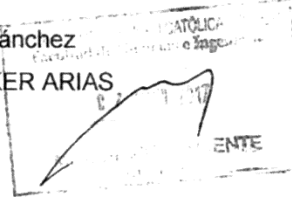
Asesor : Danny Eduardo Murguía Sánchez

Alumno : EDSON SANTIAGO BECKER ARIAS

Código : 2010.0855.412

Tema N° : # 287

Fecha : Lima, 26 de abril de 2017



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

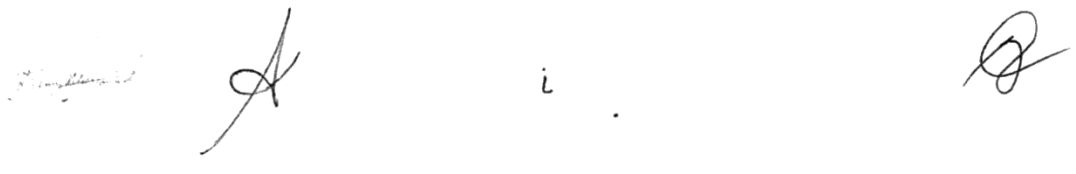
En la industria de la construcción peruana existen pocos reportes relacionados a la planificación y programación de las partidas de equipamiento eléctrico, mecánico y sanitario en los proyectos de edificación. Según Khanzode (2010), el costo de las partidas de equipamiento comprende un porcentaje entre 40% y 60% del presupuesto de obra por lo que su estudio es pertinente.

Generalmente, estas partidas son realizadas por subcontratistas bajo la modalidad de "suma alzada" en base a planos y especificaciones entregados por la contratista general, con hitos de inicio y fin compatibles con el cronograma maestro del proyecto. Asimismo, por la naturaleza de subcontrato, la contratista general se enfoca en la calidad, con poco énfasis en la planificación y control de la producción. Esto ocasiona que en el campo exista un entorno "push", con poco detalle en la planificación semanal y diaria, y poco conocimiento de las actividades a realizar en el corto plazo (Murguía y Brioso 2016).

El sistema "Last Planner System" (LPS) es una potente herramienta - que correctamente implementada - mejora la relación intrincada entre contratistas y subcontratistas, revela restricciones y genera un ciclo continuo de aprendizaje. Sin embargo, su aplicación no es explícita en la etapa de equipamiento y la falta de herramientas visuales pareciera ser una barrera para su correcta implementación. En ese sentido, los modelos virtuales BIM prometen ser una mejora en la integración y comunicación entre contratista y subcontratistas.

OBJETIVO PRINCIPAL

Implementar modelos virtuales BIM en un entorno LPS en las etapas de Lookahead Planning y Planificación Semanal en la etapa de equipamiento de sótanos de un proyecto de edificación de vivienda, incluyendo los siguientes subcontratos:



instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas y de agua contra incendio, albañilería, y acabados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) En base a cuestionarios a profesionales en obra, elaborar un diagnóstico sobre el grado de integración entre contratista y subcontratista en proyectos de edificación de Lima Metropolitana.
- b) Revisión de literatura en la integración de LPS y BIM en las etapas de Lookahead Planning y Planificación Semanal.
- c) A través de un caso de estudio, implementar LPS y BIM simultáneamente para las partidas de equipamiento de sótanos de un proyecto de edificación.
- d) Procesar los datos y describir las lecciones aprendidas y resultados.
- e) Elaborar conclusiones y recomendaciones.

PLAN DE TRABAJO

1. Diseño, elaboración, procesamiento y análisis de cuestionarios a profesionales de la industria AEC para determinar el grado de integración de contratistas y subcontratistas en proyectos de edificación.
2. Revisión de literatura sobre LPS, BIM, su sinergia y la relación entre subcontratistas y contratistas en la cadena de suministro.
3. Implementación de modelo BIM en el entorno LPS del caso de estudio, en reuniones de planificación del frente analizado: sótanos.
4. Procesar los datos y describir las lecciones aprendidas y resultados.
5. Elaborar conclusiones y recomendaciones.

REFERENCIAS

- KHANZODE, A. (2010). An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP. CIFE Technical Report #TR187. CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA, USA.
- MURGUÍA, D., BRIOSO, X., and PIMENTEL, A. (2016). "Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building." In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.2 pp. 43–52. Available at: www.iglc.net.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



ÍNDICE

LISTA DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES	3
1.4. PROPOSICIONES	3
1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	3
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	6
2.1. ETAPAS DE UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN	6
2.2. GESTIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO	7
2.2.1. DEFINICIÓN	7
2.2.2 LA CADENA DE ABASTECIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN	7
2.3. LAST PLANNER SYSTEM	10
2.3.1. LEAN CONSTRUCTION	10
2.3.2. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM	10
2.3.3. LAST PLANNER SYSTEM	11
2.3.4. PROPUESTAS DE MEJORA EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DESDE EL ENFOQUE LPDS	15
2.4. BUILDING INFORMATION MODELLING	17
2.4.1. DEFINICIÓN	17
2.4.2. NIVEL DE DESARROLLO	17
2.4.3. IMPACTO DE BIM EN LOS PROYECTOS DE EDIFICACIONES	18
2.4.4. BIM EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	19
2.4.5. LOS PRINCIPALES INVOLUCRADOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	21
2.4.6. CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN BIM	24
2.5. SINERGIA ENTRE BIM Y LPS	24
2.5.1. IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN LPS	25
CAPÍTULO 3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	27
3.1. ENCUESTAS POR MUESTREO	27
3.1.1 FINALIDAD	27
3.1.2. OBJETIVO GENERAL	27
3.1.3. UNIDADES DE ANÁLISIS	27
3.1.4. DISEÑO MUESTRAL	27
3.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA ENCUESTA	29

3.1.6. COBERTURA DE LA ENCUESTA	31
3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
3.2.1. BLOQUE 0 – INTRODUCCIÓN.....	32
3.2.2. BLOQUE I – NIVEL DE GESTIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN	32
3.2.3. BLOQUE II – CONTRATOS	41
3.2.4. BLOQUE III – DIAGNÓSTICO DE LA PROCURA.....	42
3.2.5. BLOQUE IV – MISCELÁNEA	46
CAPÍTULO 4 CASO DE ESTUDIO – MADRE.....	47
4.1. ALCANCES GENERALES	47
4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	47
4.1.2. ALCANCE EN EL USO DE LAS HERRAMIENTAS	52
4.1.3. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO	54
4.1.4. INTEGRACIÓN DE BIM Y LPS	55
4.1.5. HERRAMIENTAS BIM IMPLEMENTADAS EN LPS	63
4.1.6. EJECUCIÓN Y CONTROL DE LA PROGRAMACIÓN	66
4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.2.1. DESARROLLO LPS Y SUS RESULTADOS	67
4.2.2. CASOS REPRESENTATIVOS	70
4.2.3. OBSERVACIONES	85
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1. CONCLUSIONES	86
5.1.1. DEL DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	86
5.1.2. DEL CASO DE ESTUDIO	88
5.2. RECOMENDACIONES.....	90
5.2.1. DEL DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	90
5.2.2. DEL CASO DE ESTUDIO	91
REFERENCIAS	92

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Metodología de la investigación. Fuente: Propia.	4
Ilustración 2. Etapas de un proyecto de edificación. Fuente: Adaptado de Sesión n°1 del curso Modelación de la información para la Construcción, 2016.	6
Ilustración 3. Modelo de la cadena de abastecimiento en la construcción para proyectos de edificaciones. Fuente: Adaptado de Vrijhaef y Koskela (1999). Roles of Supply Chain Management in Construction.	7
Ilustración 4. Lean Project Delivery System. Fuente: www.leanconstruction.org	10
Ilustración 5. Enfoque tradicional vs Enfoque LPS. Fuente: (Huatuco, 2017).....	12
Ilustración 6. Estructura típica de descomposición de un proyecto de construcción. Fuente: Propia.	13
Ilustración 7. Niveles de planificación. Fuente: "Current Process Benchmark for the Last Planner System. Ballard and Tommelein, 2016.	14
Ilustración 8. Uso de modelos 3D y 4D en la planificación y programación de obra. Fuente: https://www.autodesk.com.au/products/navisworks/features/model-simulation-and-analysis/5d-project-scheduling-includes-time-and-cost	16
Ilustración 9. Influencia de BIM sobre el costo según su inicio de implementación en un proyecto. Fuente: BIM Handbook, Eastman (2008).	19
Ilustración 10. Flujo de procesos: Contratista construye su propio modelo a partir de planos 2D. Fuente: Adaptado de BIM Handbook. Eastman et al, (2008).	22
Ilustración 11. Flujo de proceso: Contratista recibe un proyecto modelado con herramientas BIM. Fuente: Adaptado de BIM Handbook, Eastman et al, (2008).	22
Ilustración 12. Niveles de planificación y aportes de las herramientas BIM en LPS. Fuente: Adaptado de Ballard y Tommelein (2016) y Huatuco (2017).	26
Ilustración 13. Escala de evaluación en encuestas. Fuente: Propia	31
Ilustración 14. Proporción de proyectos según el tamaño de empresa. Fuente: Propia	32
Ilustración 15. Proporción de proyectos según tipo. Fuente: Propia	32
Ilustración 16. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.	33
Ilustración 17. Frecuencia de implementación de herramientas según tamaño de empresa. Fuente: Propia.	33
Ilustración 18. Escala de frecuencia de implementación. Fuente: Propia.	34
Ilustración 19. Porcentaje de implementación de herramientas LPS según etapa. Fuente: Propia.	35
Ilustración 20. Porcentaje de implementación de la herramienta "Planificación Colaborativa con S/C" según etapa del proyecto. Fuente: Propia.	35

Ilustración 21. Frecuencia de uso de herramientas LPS en la etapa de estructuras. Fuente: Propia.	37
Ilustración 22. Frecuencia de implementación de herramientas LPS según tamaño de empresa en la etapa de Acabados y Equipamiento. Fuente: Propia.	38
Ilustración 23. Porcentaje de implementación BIM en distintos aspectos de un proyecto de construcción. Fuente: Propia.	39
Ilustración 24. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.	39
Ilustración 25. Cantidad de respuestas según aplicaciones BIM y según tamaño de empresa. Fuente: Propia.	41
Ilustración 26. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.	41
Ilustración 27. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.	43
Ilustración 28. Escala de valoración de la confiabilidad de la planificación. Fuente: Propia.	44
Ilustración 29. Escala de valoración de nivel de monitoreo en campo. Fuente: Propia.	44
Ilustración 30. Edificio Multifamiliar Madre. Fuente: Afiche publicitario de Inmobiliaria Plenum.	47
Ilustración 31. Niveles de aislamiento de la edificación. Fuente: Propia.	48
Ilustración 32. Nivel de aislamiento +0.13 m. Fuente: Propia.	48
Ilustración 33. Sistema eléctrico en sótano 1. Fuente: Propia.	49
Ilustración 34. Sistema de comunicaciones en sótano 1. Fuente: Propia.	50
Ilustración 35. Sistema de agua fría y desagüe. Fuente: Propia.	51
Ilustración 36. Sistema de agua contra incendios en sótano 1. Fuente: Propia.	51
Ilustración 37. Sistema de extracción mecánica y ventilación forzada de aire en sótano 1. Fuente: Propia.	52
Ilustración 38. Plan Maestro al final de obra. Fuente: Propia.	53
Ilustración 39. Organigrama del proyecto "Edificio Multifamiliar Madre". Fuente: Proyecto Multifamiliar Madre.	54
Ilustración 40. Distribución de frentes de trabajo. Fuente: Propia.	55
Ilustración 41 Reunión de coordinación LPS - BIM. Fuente: Propia.	55
Ilustración 42 Recorrido virtual colaborativo en la primera reunión de coordinación. Fuente: Propia.	56
Ilustración 43 Sectorización inicial del sótano 1. Fuente: Propia.	56
Ilustración 44 Lookahead inicial de 4 semanas del frente de sótanos, específicamente del sótano 1. Fuente: Propia.	57
Ilustración 45. Implementación y actualización de LOD en los sistemas involucrados. Fuente: Propia.	59
Ilustración 46 Visualización del modelo en campo. Fuente: Propia.	60

Ilustración 47 Elementos que generan una actualización correcta de un modelo BIM. Fuente: Propia.	61
Ilustración 48 Reunión de coordinación. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 49 Estado virtual de entrega versus actividad programada entregada. Fuente: Propia.	63
Ilustración 50 Modelo de especialidades actualizadas y cargadas paralelamente para la identificación de restricciones. Fuente: Propia.....	63
Ilustración 51 Sectorización de sistemas: Baterías de sumideros del piso 1, patio 2. Fuente: Propia.	64
Ilustración 52 Sectorización de sistema mecánico. Fuente: Propia.	65
Ilustración 53 Proceso de diseño de operaciones. Fuente: Propia.	65
Ilustración 54 Sistema de extracción mecánico de aire y tablas de materiales. Fuente: Propia.	66
Ilustración 55 Porcentaje de restricciones según tipo. Fuente: Propia.	68
Ilustración 56 Trazabilidad del PPC. Fuente. Propia.	69
Ilustración 57 Porcentaje según tipos de causas de no cumplimiento de programación. Fuente: Propia.	70
Ilustración 58 Interferencias entre sistema ACI y Red de desagüe en Sector SIII. Fuente: Propia.	71
Ilustración 59 Programación semanal de la primera semana de estudio. Fuente: Propia.....	71
Ilustración 60 Almacén de obra. Fuente: Propia.	71
Ilustración 61 Representación de obras provisionales y distribución de elementos en planta del sótano 1. Fuente: Propia.....	72
Ilustración 62 Modelo inicial, sin actualización al LOD necesario para la especialidad. Fuente: Propia.	72
Ilustración 63 Modelo actualizado al LOD correspondiente. Fuente: Propia.	73
Ilustración 64. Distribución acordada en reunión de coordinación. Fuente: Propia.	73
Ilustración 65 Distribución de cajas de pase y bandeja eléctrica. Fuente: Propia.	74
Ilustración 66 Emplazamiento en campo de cajas de pase de instalaciones de comunicaciones. Fuente: Propia.	74
Ilustración 67 Reunión de coordinación con instalador de instalaciones sanitarias. Fuente: Propia.	74
Ilustración 68 Visualización de restricciones en cuarto de medidores. Fuente: Propia.	75
Ilustración 69 Solución para interferencia encontrada en cuarto de medidores. Fuente: Propia.	75
Ilustración 70 Visualización de interferencias para sistema de extracción mecánico de aire en baño de servicio. Fuente: Propia.....	76

Ilustración 71 Visualización de interferencias a lo largo de sistema de extracción mecánico. Fuente: Propia.	76
Ilustración 72. Lookahead Proyectado. Fuente: Propia.	77
Ilustración 73. Inspección y coordinación en campo del recorrido tentativo del sistema de extracción. Fuente: Propia.	77
Ilustración 74 Modelamiento y corrección del sistema de extracción mecánico de acuerdo a lo coordinado con instalador. Fuente: Propia.	77
Ilustración 75 Interferencias resueltas. Fuente: Propia.	78
Ilustración 76 Interferencias resueltas. Fuente: Propia.	78
Ilustración 77 Proceso de instalación de ducto de extracción. Fuente. Propia.	79
Ilustración 78 Ducto instalado. Fuente: Propia.	79
Ilustración 79 Proceso de instalación. Fuente: Propia.	80
Ilustración 80. Coordinación directa con instalador para el diseño de operaciones: Instalación de soportes y tuberías de sumideros. Fuente: Propia.	81
Ilustración 81 Situación en campo para elementos coordinados a instalar. Fuente: Propia. ..	81
Ilustración 82. Modelo final del sistema, previo a su instalación (restricciones resueltas). Fuente: Propia.	82
Ilustración 83 Visualización de restricciones de altura. Fuente: Propia.	83
Ilustración 84 Visualización de secciones variables en altura del ducto de inyección y extracción de monóxido. Fuente: Propia.	84
Ilustración 85. Porcentaje de la herramienta "Planificación Colaborativa con S/C" según etapa del proyecto. Fuente: Propia.	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Problemas y sus causas generados por subcontratistas y proveedores. Fuente: Adaptado de Heredia (2003). Diagnóstico y metodología de aplicación de la administración de la cadena de abastecimiento en la construcción. p 42.	9
Tabla 2. Problemas y sus causas generados por el Contratista General. Fuente: Adaptado de Heredia (2003). Diagnóstico y metodología de aplicación de la administración de la cadena de abastecimiento en la construcción. p 42.	9
Tabla 3. Especificación de LOD. Fuente: "Level of Development Specification", BIMForum (2013).	18
Tabla 4. Consideraciones para la implementación BIM. Fuente: Propia.	24
Tabla 5. Tipos de usuarios a encuestar en proyectos de construcción. Fuente: Propia.	28
Tabla 6. Tamaño empresas constructoras según su facturación anual y número de trabajadores. Fuente: Informe Estadístico Mensual 42, Marzo 2008 – Ministerio de Trabajo	28
Tabla 7. Distribución de empresas constructoras según tamaño. Fuente: Perú: The Top 10'000 Companies 2015"	28
Tabla 8. Proporción de tipos de proyectos en Lima y Callao. Fuente: Propia.	29
Tabla 9. Edificaciones de cuatro pisos o más según destino y distrito, agosto de 2015. Fuente: 20° Estudio, El mercado de edificaciones urbanas de Lima y Callao, CAPECO.....	29
Tabla 10. Estructura de la herramienta para el diagnóstico. Fuente: Propia.	30
Tabla 11. Frecuencia de implementación de los sistemas de gestión en construcción. Fuente: Propia.	33
Tabla 12. Tabla de resultados de uso de herramientas Last Planner según etapa en la que se implementa. Fuente: Propia	34
Tabla 13. Tabla comparativa de resultados del uso de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de estructuras. Fuente: Propia.	36
Tabla 14. Tabla comparativa de resultados y desviación estándar del uso de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de estructuras. Fuente: Propia.....	36
Tabla 15. Tabla comparativa de resultados del nivel de implementación de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de acabados y equipamiento. Fuente: Propia.	37
Tabla 16. Tabla comparativa de resultados y desviación estándar del nivel de implementación de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de acabados y equipamiento. Fuente: Propia.....	37
Tabla 17. Nivel de implementación de las aplicaciones BIM en la muestra estudiada. Fuente: Propia.	39

Tabla 18. Frecuencia de implementación BIM según tamaño de empresa para la muestra estudiada. Fuente: Propia.....	40
Tabla 19. Frecuencia en la consideración de aspectos en los contratos realizados a subcontratistas. Fuente: Propia.....	41
Tabla 20. Frecuencia en la consideración de aspectos en los contratos realizados con los subcontratistas según el tamaño de la empresa a la que pertenece el proyecto. Fuente: Propia.	42
Tabla 21. Frecuencia en la planificación de las partidas en estudio. Fuente: Propia.	43
Tabla 22. Nivel de cumplimiento de la planificación respecto a lo programado. Fuente: Propia.	44
Tabla 23. Nivel de monitoreo en campo de las partidas en estudio. Fuente: Propia.	44
Tabla 24. Frecuencia en la planificación de las partidas en estudio. Fuente: Propia.	45
Tabla 25. Nivel de cumplimiento de la planificación respecto a lo programado. Fuente: Propia.	45
Tabla 26. Nivel de monitoreo en campo de las partidas en estudio. Fuente: Propia.	45
Tabla 27. Nivel de prefabricación de las partidas en estudio. Fuente: Propia.	46
Tabla 28. Operaciones que conforman las instalaciones mecánicas. Fuente: Propia.	57
Tabla 29. Operaciones que conforman las instalaciones de ACI. Fuente: Propia.	58
Tabla 30. Operaciones que conforman las instalaciones sanitarias. Fuente: Propia.	58
Tabla 31. Operaciones que conforman las instalaciones eléctricas. Fuente: Propia.....	59
Tabla 32. Descripción del nivel de desarrollo (LOD) correspondiente a cada sistema involucrado en el proyecto. Fuente: Propia.	60
Tabla 33. Análisis de restricciones derivado de la primera reunión. Fuente: Propia.	61
Tabla 34. Plan de trabajo semanal explotado en operaciones para un mayor control de actividades. Fuente: Propia.	62
Tabla 35. Identificación de restricciones y tipo. Fuente: Propia.	67
Tabla 36. Porcentaje de actividades cumplidas semanal. Fuente: Propia.....	68
Tabla 37. Identificación de causas de no cumplimiento de la programación. Fuente: Propia.	69
Tabla 38. Cálculo de materiales: Ductos empleados. Fuente. Propia	79
Tabla 39. Calculo de uniones y transiciones de ductos. Fuente: Propia.....	79
Tabla 40. Comparación de totales de materiales según modelo BIM y dimensiones reales en campo. Fuente: Propia.....	80
Tabla 41. Cálculo de materiales en Revit 2017. Fuente: Propia.....	82
Tabla 42. Cálculo de materiales en Revit 2017. Fuente: Propia.....	82
Tabla 43. Conteo de accesorios a instalar en Revit 2017. Fuente: Propia.	82

Tabla 44. Evaluación de frecuencia y desviación estándar en el uso de los sistemas gestión. Fuente propia.....	87
Tabla 45. Evaluación de frecuencia y desviación estándar del uso de herramientas LPS según etapa del proyecto. Fuente: Propia.....	87
Tabla 46. Evaluación de frecuencia y desviación estándar del uso de herramientas LPS según etapa del proyecto (estructuras) y tamaño de empresa. Fuente: Propia.....	87
Tabla 47. Evaluación de frecuencia y desviación estándar del uso de herramientas LPS según etapa del proyecto (acabados y equipamiento) y tamaño de empresa. Fuente: Propia.	87
Tabla 48. LODs descritos por sistemas. Fuente: Propia.....	89



CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción, en todo el mundo, ha sido criticada por su ineficiencia y baja productividad, la cual ha sido atribuida a su naturaleza fragmentada para llevar a cabo el desarrollo de sus proyectos. Es así que esta industria es una de las menos desarrolladas y puede llegar a ser una actividad artesanal para países en vías de desarrollo. Sin embargo, la industria ha experimentado un cambio de paradigma para poder lograr un incremento en la productividad, el valor, la calidad, la sostenibilidad, la reducción del ciclo de vida económico y mejora en los plazos de entrega a través de una efectiva colaboración y comunicación entre los involucrados del proyecto de construcción (Nour, 2007). Este cambio de paradigma comprende diferentes maneras de abordar este tipo de proyectos. La implementación de distintas herramientas, provenientes de la filosofía Lean, o las buenas prácticas en la gestión de proyectos según el PMBOK permiten llevar a cabo proyectos de manera más eficiente y confiable. Sin embargo, aún existen aspectos por mejorar.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema específico que se pretende resolver consiste en que actualmente las partidas de equipamiento involucran pérdidas que se contemplan en el costo total de estas, pues se asume que es parte de su naturaleza. Entre ellas tenemos, desde el enfoque Lean:

- **El sobreprocesamiento:** Este tipo de pérdida consiste en llevar a cabo mayor cantidad de algoritmos o pasos que los necesarios para poder realizar una actividad específica.
- **La sobreproducción:** Esto está relacionado directamente con el exceso de recursos empleados para su elaboración.
- **El exceso de inventario:** Esta merma consiste en el exceso de recursos materiales almacenados en obra, los cuales consumen espacio y mano de obra en su almacenamiento.

Como se mencionó inicialmente, es usual que se reste importancia a este problema pues las partidas de equipamiento no son parte de una ruta crítica y los sobrecostos ya se encuentran cuantificados. En tal sentido, es pertinente resaltar que el costo de las partidas de equipamiento comprende un porcentaje que puede ser considerable en algunos proyectos, aproximadamente entre 40% y 60% de estos (Khanzode, 2010). Este tipo de partidas, generalmente, son ejecutadas por subcontratistas bajo la modalidad “Suma Alzada” y su costo implica lidiar con baja productividad. Su naturaleza de subcontrato hace que se genere una falta de planificación y fiscalización por parte de la empresa constructora en la mayor parte del proceso de su ejecución, dejando de lado el control de la productividad y

enfocándose únicamente en la calidad. De esta manera, se genera en campo un entorno “push”, con una deficiente programación semanal y diaria, además de poco conocimiento de las actividades a realizar en el corto plazo (Murguía y Brioso, 2016).

Sin embargo, el problema antes mencionado forma parte de las falencias en planificación colaborativa que poseen como equipo la contratista y el subcontratista. No obstante, la herramienta LPS, correctamente implementada, acorta las brechas, revelando restricciones y generando un ciclo continuo de aprendizaje. Su aplicación dentro de la etapa de equipamiento no se encuentra muy desarrollada, dejando en evidencia la falta de una interfaz visual complementaria. En ese sentido, los modelos virtuales BIM prometen ser una mejora en la integración y comunicación entre contratista y subcontratista.

Por estas razones, el propósito esta investigación es analizar la sinergia entre las herramientas LPS y BIM por medio de un caso de estudio. De esta manera, se busca analizar las interacciones que se presenten dentro del entorno de una planificación intermedia e inmediata para lograr optimizarlas. Obteniendo como resultado una mejora en la procura de los proyectos de construcción entre la contratista general y los subcontratistas de las partidas de equipamiento o instalaciones, también, garantizará una disminución en las mermas: sobreproducción, sobreprocesamiento y exceso de inventario; lo que repercutirá de manera positiva en los costos y duración de este tipo de partidas y en el valor del proyecto.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar modelos virtuales BIM en un entorno LPS en las etapas de Lookahead Planning y Planificación Semanal en la etapa de equipamiento de sótanos de un proyecto de edificación de vivienda, incluyendo los siguientes subcontratos: instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas y de agua contra incendio, albañilería y acabados.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos que pretende lograr esta tesis son los siguientes:

- a) En base a cuestionarios a profesionales en obra, elaborar un diagnóstico sobre el grado de integración entre contratista y subcontratista en proyectos de edificación de Lima Metropolitana
- b) Revisión de literatura en la integración de LPS y BIM en las etapas de Lookahead Planning y Planificación Semanal
- c) A través de un caso de estudio, implementar LPS y BIM simultáneamente para las partidas de equipamiento de sótanos de un proyecto de edificación.
- d) Procesar los datos y describir las lecciones aprendidas y resultados.
- e) Elaborar conclusiones y recomendaciones.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance del presente trabajo de investigación consiste en la implementación de modelos BIM dentro de un entorno LPS en un proyecto de edificación de vivienda en la etapa de acabados y equipamiento de los sótanos para el análisis de la sinergia existente entre estas dos herramientas. Asimismo, la realización de un diagnóstico de la situación actual por medio de encuestas a diferentes proyectos de edificación de Lima Metropolitana en ejecución o terminados entre el año 2015 y 2016.

Las limitaciones que este proyecto de investigación posee son puntuales. En cuanto al diagnóstico de la situación actual, se abordó proyectos con un nivel medio en su sistema de gestión, proyectos de empresas medianas y grandes. La principal limitación dentro del caso de estudio fue: la coyuntura por la que atravesaba el proyecto, la cual no fue la mejor y perjudicó su ejecución.

1.4. PROPOSICIONES

- La implementación de un modelo BIM en la gestión entre ambos stakeholders mejora la calidad, comunicación para la planificación y el entendimiento previo al ensamblaje en el desarrollo de la partida.
- El flujo de información en la construcción, con ayuda del modelo BIM, minimiza los inconvenientes en el ensamblaje o ejecución de la partida.
- El modelo BIM aporta con información relevante al proveedor para un adecuado dimensionamiento, en planta, del sistema antes de llegar a obra.

1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación sigue una estructura ordenada de etapas para lograr alcanzar el objetivo general. A continuación, se detalla cada uno de los pasos logrados para su elaboración.

En la presente investigación se buscó analizar la situación de la industria de la construcción peruana, analizando su compleja naturaleza para poder identificar las falencias que hacen de ella una de las más retrasadas. De esta manera, se logró delimitar la extensión de este proyecto de investigación hacia la etapa de la construcción, específicamente dentro de la planificación intermedia e inmediata.

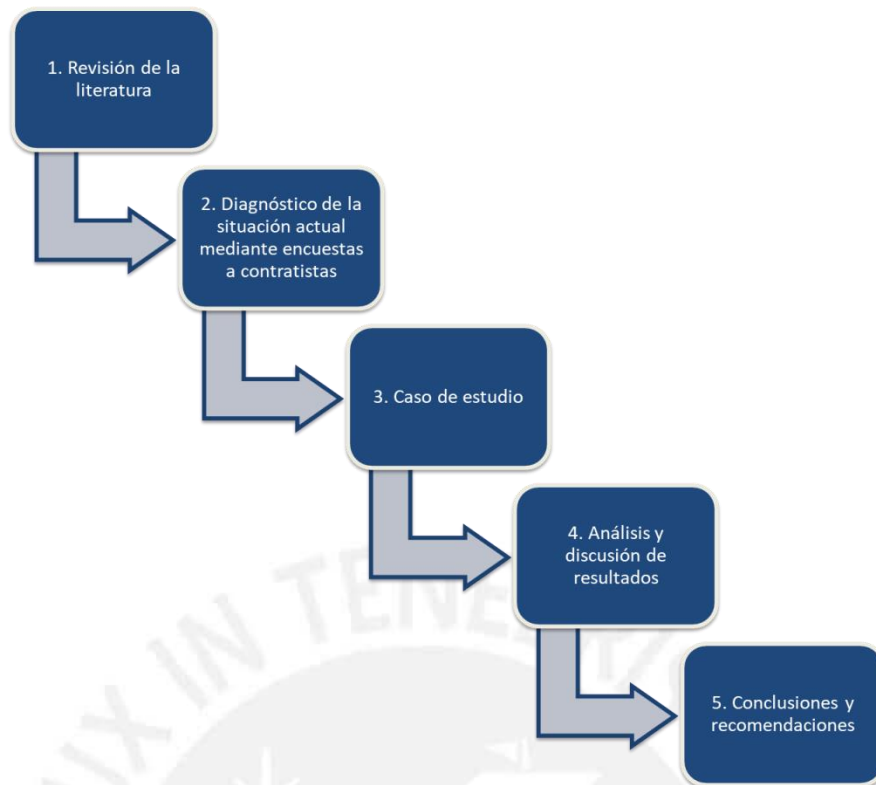


Ilustración 1. Metodología de la investigación. Fuente: Propia.

En primer lugar, se realizó la revisión de la literatura. Para llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual, así como, el análisis de la sinergia entre BIM y Last Planner System, fue necesario contar con una base sólida de conocimientos previos. El cumplimiento de los objetivos específicos demandó profundizar en ciertos temas. Para la elaboración de encuestas se puso énfasis en los siguientes aspectos: nivel de gestión e industrialización, diagnóstico de la procura y el rol en la ejecución de proyectos de cada uno de los involucrados más importantes de las partidas de equipamiento: el contratista y el subcontratista. Posteriormente, se investigó acerca de Last Planner System (LPS) y Building Information Modeling (BIM). De estas herramientas se estudió a detalle sus particularidades y la manera en la que se relacionan.

El primer tema a definir fue “Las etapas de un proyecto de construcción”, con el cual se busca delimitar la etapa, de un proyecto de edificaciones, en la que se enfocará el estudio: fase de construcción. A continuación, se siguió con el de “Gestión de la Cadena de Abastecimiento”, abordado desde el punto de vista de la industria de la construcción. A partir de estos dos primeros temas se pone en contexto al lector para que comprenda el funcionamiento y el flujo de procesos que se realizan para el cumplimiento de las partidas de equipamiento. Finalmente, se desarrollaron los temas de LPS, BIM y la sinergia presente entre estas herramientas.

La segunda etapa de este proyecto de investigación se denominó “Diagnóstico de la situación actual”. Ya establecido el alcance de la investigación y con un conocimiento teórico que la

respalda, se procedió a la identificación y definición de los involucrados en las partidas de equipamiento en el contexto de la industria de la construcción peruana. Posteriormente, se definió el tipo de enfoque que se seguirá en este análisis. De este modo, se evaluaron las alternativas para el estudio de la situación actual en la industria. Las herramientas diseñadas fueron encuestas dirigidas a los contratistas generales, específicamente a ingenieros residentes e ingenieros de producción. Con estas herramientas se buscó conocer las condiciones en las que se desenvuelven las distintas partidas, desde la perspectiva del contratista general. Para la elaboración de estas, se consideraron tres aspectos fundamentales, mencionados previamente: nivel de gestión e industrialización en el proyecto, diagnóstico de la procura y el rol que cumple cada involucrado. A partir de los resultados y con la aplicación de la estadística se arribará a las conclusiones que puedan obtenerse de este estudio.

La siguiente etapa del proyecto de investigación es el “Caso de Estudio”. En él, se aborda un proyecto de vivienda multifamiliar ejecutado en la ciudad de Lima, en el distrito de Miraflores. El alcance se restringió al análisis del sótano 1 de esta edificación. La investigación se enfoca en desarrollar un entorno LPS en apoyo de las herramientas BIM, analizar la sinergia que se presenta en la etapa de equipamiento de este sótano, específicamente en los niveles de planificación intermedia e inmediata. Bajo estas condiciones, se pretende realizar una planificación y un análisis de restricciones colaborativa mediante el Lookahead Planning y el Plan Semanal con los subcontratistas que tengan actividades pendientes en dicho frente de trabajo.

Posteriormente, se analizará la confiabilidad de la planificación por medio del PPC y se evaluarán las Causas de No Cumplimiento de la programación. Adicionalmente, se registrarán los casos más representativos de la sinergia entre LPS y BIM y se realizará el análisis y discusión de los resultados.

Finalmente, se llevará a ejecutar la sección de conclusiones y recomendaciones la investigación. En este capítulo se detallarán las conclusiones de los resultados obtenidos mediante la evaluación de la situación actual por medio de las encuestas y del caso de estudio realizado. También, se listarán algunas recomendaciones a tener en cuenta obtenidas de la experiencia en la ejecución de esta investigación.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1. ETAPAS DE UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN

En la actualidad, los proyectos de edificaciones, poseen 5 etapas definidas. Las etapas mostradas en la imagen 2 serán explicadas a continuación (Murguía, 2016).

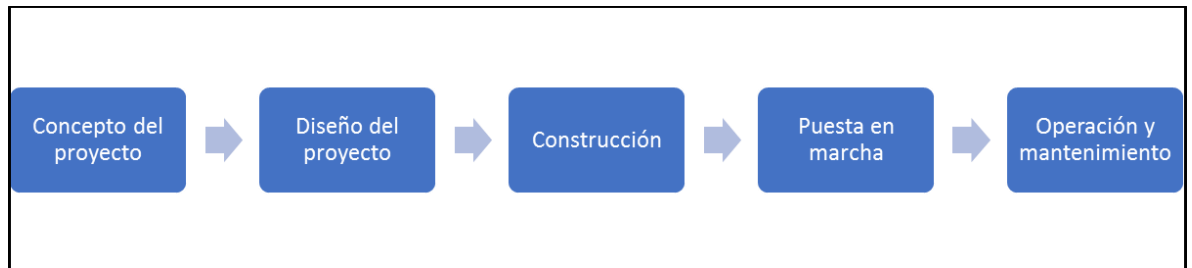


Ilustración 2. Etapas de un proyecto de edificación. Fuente: Adaptado de Sesión n°1 del curso Modelación de la información para la Construcción, 2016.

Los proyectos que encontramos en la industria de la construcción se conciben a partir de una necesidad o una idea planteada por un primer usuario, el cliente. Él es el principal participante de la primera etapa, **Concepto del Proyecto**. En esta etapa, el especialista a cargo, para los proyectos de edificaciones, el arquitecto, busca recopilar todos los requerimientos que el cliente desea para la edificación. Cabe agregar, que el cliente también participa de etapas posteriores, siendo de gran relevancia.

Posteriormente, a partir del concepto elaborado por el arquitecto y confirmado por el cliente se procederá a dar paso a la etapa de **Diseño del Proyecto**. En esta segunda etapa, el proyecto de arquitectura será procesado por cada especialidad para ser implementado según los alcances necesarios de cada una de ellas y poder hacer un diseño construable.

Los documentos técnicos y planos del proyecto serán evaluados por las entidades correspondientes para verificar que se cumpla con la normativa vigente. Posteriormente, se emitirá el permiso de construcción con el cual se comenzará con la etapa de **Construcción** del proyecto.

La **Puesta en Marcha** es la etapa donde se verifica que no exista ningún error previo a la entrega del proyecto. En ella, se corregirán las observaciones de los sistemas (eléctrico, mecánico y sanitario) para que su funcionamiento sea el adecuado.

Finalmente, se presenta la etapa de **Operación y Mantenimiento** la cual continúa a lo largo de la vida del proyecto.

En esta investigación, se busca realizar un análisis de la sinergia entre las herramientas LPS y BIM para lograr una mayor eficiencia en la ejecución de las partidas de equipamiento, debido a ello se abarcará la etapa de construcción. Cabe agregar, que específicamente se abordará la etapa de equipamiento de sótanos en un proyecto de este tipo.

2.2. GESTIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

2.2.1. DEFINICIÓN

Segun Christopher (1992); Chopra y Meindl (2007); y Bowersox et al (2002), se sostiene que la cadena de abastecimiento es un conjunto de organizaciones que poseen intereses propios. Estas se asocian de manera estratégica mediante la estrecha dependencia de sus procesos y operaciones para lograr alcanzar sus objetivos de manera eficiente y, además, contribuir significativamente con el valor del producto que el cliente final requiere.

2.2.2 LA CADENA DE ABASTECIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN

Se conoce que la industria de la construcción posee algunas particularidades. Una de ellas es la **fragmentación**, lo que significa que es una industria en la que sus participantes actúan por separado en una línea productiva que da como resultado un producto único a partir de distintos componentes. Además, requiere de una **modernización**. Esto genera que sus proyectos tengan pobres índices de **rentabilidad** y, además, una tasa muy alta de **insatisfacción** por parte de sus clientes (Department of Environment, Transport and the Regions, 1998).

El esquema actual que se presenta en la mayoría de proyectos es el que se muestra en el siguiente modelo.

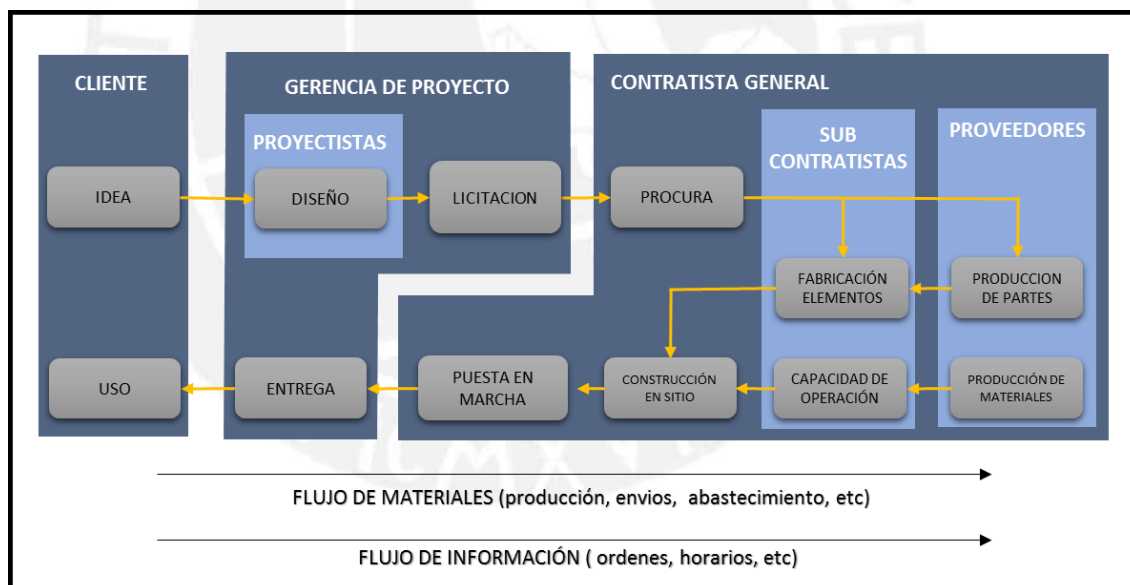


Ilustración 3. Modelo de la cadena de abastecimiento en la construcción para proyectos de edificaciones.
Fuente: Adaptado de Vrijhaef y Koskela (1999). Roles of Supply Chain Management in Construction.

A partir de este esquema podemos observar cómo cada una de las etapas están desvinculadas entre sí, e incluso cómo esta situación persiste dentro de la etapa de construcción. En la cadena de abastecimiento de la construcción podemos identificar a los siguientes involucrados:

- **El cliente:** Es quien tiene la necesidad o idea que desea plasmar en la realidad y quien participará a lo largo del proyecto mostrando su aprobación o descontento con

lo que se está llevando a cabo, con la finalidad de realizar las modificaciones que crea convenientes.

- **La gerencia de proyectos:** Liderada por un especialista que recopilará los requerimientos del cliente para concebir un proyecto que dé como resultado el producto que él espera. Se encargará de licitarlo, una vez el diseño esté terminado. Además, es el responsable de la entrega final del proyecto al cliente.
- **Los proyectistas:** Conformado por las diferentes especialidades de ingeniería (eléctricas, sanitarias, electromecánicas) involucradas en la elaboración del diseño del proyecto.
- **El contratista general:** Es la empresa que elaborará un presupuesto que participará en la licitación. Posteriormente, de ganar esta licitación, se encargará de construir el proyecto según lo estipulado en los acuerdos comerciales con la gerencia de proyecto.
- **Los subcontratistas:** Son los agentes que realizan trabajos de diferentes especialidades en el sitio para el contratista general y coordinarán directamente con este respecto de cualquier percance en el ensamblaje o falta de información que presenten los planos y especificaciones técnicas.
- **Los proveedores:** Dependiendo de la tarea que se esté desarrollando, tendrán un trato directo con el contratista general o simultáneamente con los subcontratistas, con el fin de abastecerlos con los componentes o materiales necesarios para la ejecución de determinados trabajos.

I. Problemas propios de la cadena de abastecimiento de la construcción

En la industria se presentan distintos tipos de problemas que son ocasionados, generalmente, mucho antes que sucedan. Es necesario comprender de donde provienen los más importantes que se suscitan con frecuencia. A continuación, se muestra una tabla con los problemas más estudiados y comentados en distintos artículos de investigación. Hong-inh, et al (2000), McIntosh, G, et al (2000), entre otros.

Tabla 1. Problemas y sus causas generados por subcontratistas y proveedores. Fuente: Adaptado de Heredia (2003). Diagnóstico y metodología de aplicación de la administración de la cadena de abastecimiento en la construcción. p 42.

LOS SUBCONTRATISTAS Y PROVEEDORES	
<p><u>PROBLEMAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de responsabilidad y credibilidad por parte de los proveedores y subcontratistas. - Materiales y componentes entregados por los proveedores difíciles de manejar en obra. - Entrega de materiales e información no coincidentes con el programa. - Materiales no entregados por problemas de calidad y órdenes mal hechas o incompletas. 	<p><u>CAUSAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de involucramiento de los subcontratistas y proveedores con el constructor. - Falta de incorporación de sistemas de calidad en los subcontratistas y proveedores. - Falta de entendimiento y conocimiento de los procesos de construcción. - Falta de comunicación o mala coordinación entre constructores y proveedores. - Mala planificación y control de sus procesos.

Tabla 2. Problemas y sus causas generados por el Contratista General. Fuente: Adaptado de Heredia (2003). Diagnóstico y metodología de aplicación de la administración de la cadena de abastecimiento en la construcción. p 42.

CONTRATISTA GENERAL	
<p><u>PROBLEMAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Definición de responsabilidades en cada etapa del proceso constructivo. - Deficiencia de los diseños. - Falta de consideración de los costos logísticos desde la planificación. - Proveedores y subcontratistas desinformados acerca de los cambios en el programa. - Falta de procedimientos de selección y evaluación de proveedores. - Cambios causados por la no disponibilidad, tardanza o incompleta información. - Ineficiente coordinación del trabajo en terreno. - Falta de técnicas y competencias en los trabajadores. - Inadecuado movimiento de materiales e instalación en el terreno. - Deficiencias en el almacenamiento y protección de materiales en el sitio. 	<p><u>CAUSAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de cooperación y comunicación entre los involucrados. - Gestión inapropiada. - Falta de relaciones a largo plazo. - Falta de incorporación de sistemas de calidad. - Falta de comunicación. - Falta de control de la información. - Deficiente planificación de las operaciones en campo. - Falta o deficiente capacitación.

De este estudio es posible determinar, el estado en el que se encuentra la industria de la construcción. Además, es posible entender la falta de eficiencia en la ejecución de sus proyectos, lo cual se debe a una falta de capacitación de sus principales involucrados y a una poca modernización en los sistemas de gestión.

2.3. LAST PLANNER SYSTEM

2.3.1. LEAN CONSTRUCTION

El sistema de producción desarrollado por el ingeniero Ohno es considerado el criterio sobre el cual está basada esta filosofía implementada en nuestros días, Lean Construction. Según Greg Howell (1999) gestionar un proyecto desde los lineamientos lean difiere de las prácticas convencionales porque:

- Posee como objetivo maximizar el valor para el cliente a nivel de proyecto.
- El **diseño del producto y su construcción** se elaboran de manera colaborativa.
- Aplica un **control de producción** a lo largo de la vida del proyecto.

2.3.2. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM

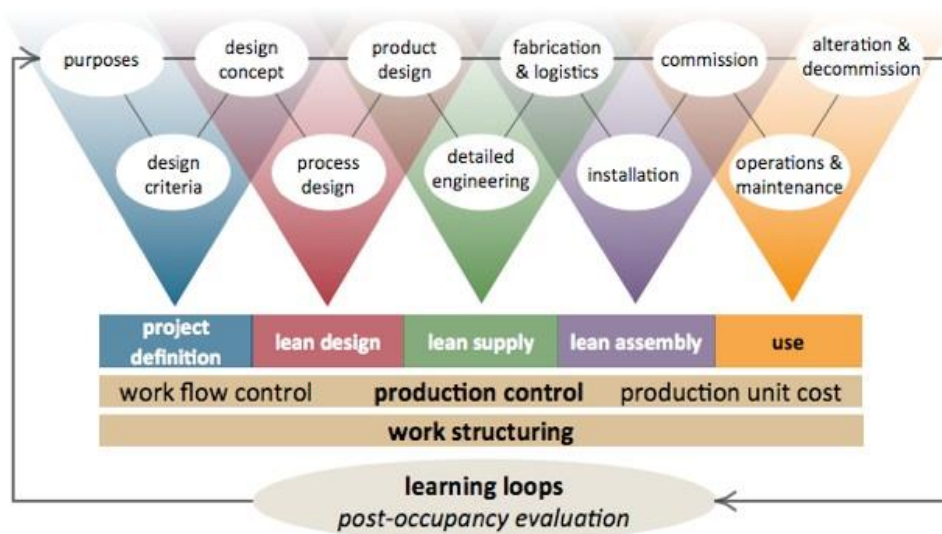


Ilustración 4. Lean Project Delivery System. Fuente: www.leanconstruction.org

Lean Project Delivery es un sistema de entrega de proyectos. Este alinea colaborativamente personas, sistemas, procesos y prácticas con la intención de aprovechar el talento y la integración de todos los participantes, en busca de que puedan optimizar el valor para el cliente (entretanto sea posible generar una apropiada ganancia para todos los involucrados), reducir desperdicios y maximizar la efectividad a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción (Mossman, 2008).

Sus módulos propician un escenario adecuado que se caracteriza por:

- La optimización de procesos y garantía del flujo de trabajo.
- La integración de los involucrados a lo largo de todo el proyecto.
- La reducción de la variabilidad presente en la industria.
- La retroalimentación adecuada para un aprendizaje continuo y mejoramiento de los procesos.

I. COMPONENTES FUNDAMENTALES DE LPDS

a. Estructuración del trabajo (Work Structuring)

Este término se refiere a las operaciones realizadas en cuanto al diseño de los procesos en busca del alineamiento del diseño del producto, la cadena de abastecimiento y la constructabilidad de este.

b. Control de producción (Production Control)

El control de la producción es la acción de verificar el cumplimiento de la ejecución de los planes establecidos para cada una de las fases del proyecto.

c. Definición del Proyecto (Project Definition)

Es la primera fase en la entrega del proyecto y está conformada por tres módulos: Determinación de los requerimientos (necesidades y valor que demandan los involucrados), interpretación de dichos requerimientos en criterios de diseño y generación de conceptos de diseño (Ballard y Zabelle, 2000).

d. Diseño Lean

La fase Diseño Lean desarrolla el diseño conceptual desde de la fase Definición de Proyecto hasta el diseño del producto y el diseño del proceso de su elaboración (Ballard, 2000). Además, es muy conocido que dentro de la fase de diseño se encuentran las principales oportunidades para mejorar la eficiencia de la producción y el valor para el cliente, asimismo, es posible aportar sostenibilidad al proyecto (Kemmer et al., 2011).

e. Abastecimiento Lean

La fase Abastecimiento Lean agrupa los módulos de **Diseño del Producto**, **Ingeniería de detalle** y **Fabricación**, la cual está comprendida por el abastecimiento de los materiales y componentes, y la **Logística** necesaria en el despliegue del transporte y almacenamiento.

f. Ensamblaje Lean

Esta fase de LPDS abarca desde el primer transporte de herramientas y materiales hasta la entrega del proyecto al cliente.

g. Uso

Esta fase comprende la puesta en servicio de la edificación y su operación en todo su ciclo de vida.

2.3.3. LAST PLANNER SYSTEM

Ballard (2000) menciona que el Sistema Last Planner (LPS) es una un conjunto de reglas y ordenamientos que facilitan la implementación de procedimientos que promueven la integración entre el flujo de trabajo y la ejecución de este por parte de los trabajadores. Asimismo, LPS forma parte de una amplia gama de herramientas de LPDS, la cual se encuentra enfocada en el control de la producción, específicamente en las fases de ensamblaje y abastecimiento Lean.

El uso de la herramienta LPS se genera a partir de las siguientes observaciones al enfoque tradicional de planificación. En este, se encuentra que las actividades realizadas (“se hizo”), difieren de las actividades contempladas en el Lookahead (se puede) y en la programación semanal (se hará). El resultado es un escaso control sobre las actividades. Sin embargo, en el enfoque LPS, se tiene un control mayor sobre las actividades programadas, las cuales no difieren en demasía sobre las actividades realizadas. Bajo este lineamiento, se plantea LPS como herramienta de planificación y control de la producción (Huatuco, 2017).



Ilustración 5. Enfoque tradicional vs Enfoque LPS. Fuente: (Huatuco, 2017)

I. FUNCIONES DE LPS

De acuerdo a Ballard y Tommelein (2016), las funciones de LPS son:

- La asignación de las tareas que deben realizarse, a cada responsable y en qué lugar en el tiempo debe ejecutarse. Además, el monitoreo de estas a todo nivel del proyecto, desde las fases, procesos y operaciones.
- La programación de tareas, libres de restricciones, para ser ejecutadas.
- La planificación adecuada para lograr los objetivos del proyecto.
- La selección de las tareas diarias y semanales, bajo la decisión de cual se ejecuta posteriormente.
- La liberación de frente de trabajo confiable entre los distintos especialistas (subcontratistas).
- La difusión del estatus actual y futuro del proyecto a todos los involucrados.
- La medición del desempeño del sistema de planificación empleado.

II. PRESUPOSICIONES Y CONVENCIONES

De acuerdo a las experiencias recopiladas en distintos proyectos en el mundo, la implementación del LPS ha dejado detrás ciertas presuposiciones y convenciones (Ballard y Tommelein, 2016). A continuación las más relevantes para la investigación.

- Los sistemas de producción son tanto fenómenos técnicos como sociales.
- La planificación es dinámica y es implementada a lo largo de todo el proyecto.

- Involucrar a los ejecutores de los trabajos y a los supervisores de campo en la planificación resulta en un mejor cumplimiento del plan y una versatilidad mayor en la adaptación de los planes, de ser requerido.
- La voluntad de invertir en planificación y preparación varía según la confiabilidad del flujo de trabajo, es decir, una mejor predictibilidad en la liberación del trabajo por parte un especialista a otro.
- Realizar compromisos de manera pública, promueve entre los involucrados la confianza de que estos serán cumplidos y genera entre ellos colaboración.
- Entender los objetivos del proyecto y el estatus presente y futuro, permite a los involucrados tomar mejores decisiones.
- Una planificación perfecta es imposible, pero es posible no cometer una equivocación dos veces.
- La confiabilidad en el flujo de trabajo es medido mediante el PPC, el cual se incrementa cuando los compromisos son planteados en base a tareas correctamente definidas, dimensionadas y secuenciadas.
- Las tareas pueden ser descompuestas en diferentes niveles de detalle. La propuesta se aprecia en la siguiente imagen, teniendo en este caso a las operaciones como punto elemental en esta investigación.



Ilustración 6. Estructura típica de descomposición de un proyecto de construcción. Fuente: Propia.

III. NIVELES DE PLANIFICACIÓN

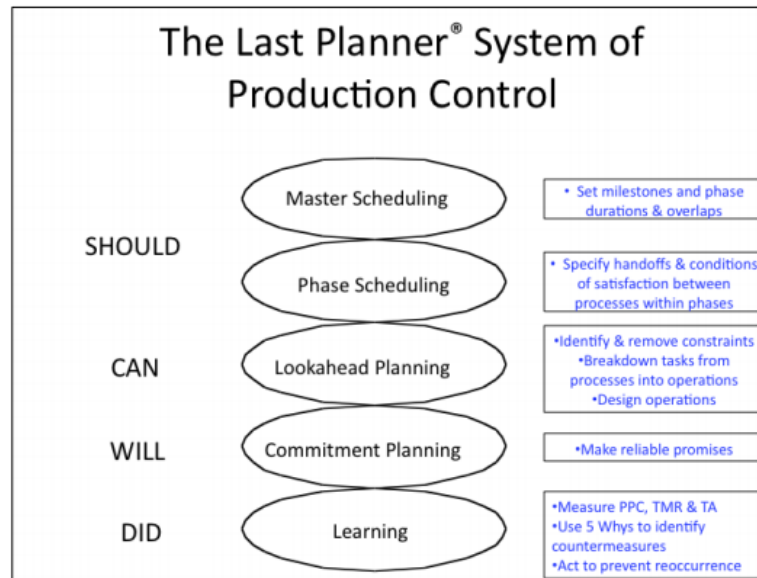


Ilustración 7. Niveles de planificación. Fuente: “Current Process Benchmark for the Last Planner System. Ballard and Tommelein, 2016.

En la imagen previa, se muestran los niveles de planificación y los diferentes procesos ejecutados en cada uno de ellos, a continuación se explican a detalle:

- **SHOULD – DEBERÍA:** Comprende dentro de este nivel el Plan Maestro, el cual posee hitos de entrega. Entre hitos, se realiza la Programación por Fase por medio de la herramienta “Pull Planning”. En ella se especifican los entregables y se estiman los recursos involucrados.
- **CAN – SE PUEDE:** Dentro de este nivel se encuentra el Lookahead Planning. Su ejecución contempla:
 - La descomposición de las fases, en procesos, y estos en operaciones.
 - La visualización de la programación descompuesta hacia el futuro en una cantidad determinada de semanas.
 - El diseño de las operaciones, la identificación de restricciones y su liberación.
- **WILL – SE HARÁ:** En este nivel de planificación se realiza la programación de las actividades libres de restricciones para la semana en curso, bajo el compromiso de los involucrados.
- **DID – SE HIZO:** En el último nivel de planificación, se evalúa la confiabilidad sobre el flujo de trabajo y la planificación mediante los indicadores. Adicionalmente, se proponen soluciones para prevenir la recurrencia de los errores presentados.

IV. METODOS EMPLEADOS EN LOOKAHEAD PLANNING Y EN PLANIFICACIÓN SEMANAL

a. IDENTIFICACIÓN Y LIBERACIÓN DE RESTRICCIONES

Las restricciones pueden ser físicas o de información. Estas pueden ser identificadas como parte del proceso, incluso manifestarse al momento de la ejecución de un proyecto. La liberación de estas es responsabilidad de los distintos miembros del equipo del proyecto. Es importante identificar el responsable de la liberación según el tipo de restricciones (Ballard and Tommelein, 2016).

b. DESCOMPOSICION DE TAREAS

La descomposición de tareas, por convención, usada en LPS entiende a los proyectos compuestos según la estructura en la imagen 06, por fases, procesos y operaciones. Bajo esta descomposición es posible identificar las restricciones específicas sobre las operaciones y se tiene la posibilidad de liberarlas a tiempo.

c. DISEÑO COLABORATIVO DE OPERACIONES

Un componente fundamental en el LPS es el involucramiento de los “Últimos Planificadores”, llamados de esa manera debido a que sus planes se ejecutan directamente. Estos supervisores de frente, o en nuestro medio, llamados “Capataces” poseen el conocimiento sobre como optimizar el trabajo a través de las condiciones presentes en campo. Sin embargo, en este método, no participan únicamente estos técnicos profesionales, también tienen lugar los instaladores y proveedores a cargo del abastecimiento de los materiales, aportando con su experiencia, en la elaboración de un proceso optimizado para la instalación de algún sistema específico. (Ballard and Tommelein, 2016).

2.3.4. PROPUESTAS DE MEJORA EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DESDE EL ENFOQUE LPDS

Al día de hoy, existen algunas opciones que aumentan el desempeño de la fase de construcción. Estas técnicas son motivo de estudio constante por parte de las líneas de investigación afines a la industria. Entre ellas se encuentran:

I. Uso de modelos 3D y 4D

Estos modelos permiten una visualización y modelamiento de los componentes de la edificación permitiendo un temprano involucramiento de los profesionales responsables. Asimismo, promueve una interface adecuada para analizar la logística de manera colaborativa. Los modelos 4D pueden ser empleados en la comunicación de la secuencia constructiva tanto en un nivel macro como micro (Khanzode et al., 2006).



Ilustración 8. Uso de modelos 3D y 4D en la planificación y programación de obra. Fuente: <https://www.autodesk.com.au/products/navisworks/features/model-simulation-and-analysis/5d-project-scheduling-includes-time-and-cost>

La prefabricación y preensamblaje de elementos como los sistemas HVAC, sistemas de agua y desagüe, acero dimensionado y concreto prefabricado apuntan como una solución a la reducción de plazos de entrega, eliminación del re trabajo y reducción de inventarios. Mediante el uso apropiado con un modelo 3D o 4D sus resultados son aún más prometedores en cuanto a sus beneficios para el proyecto en la etapa de construcción. Ballard y Arbulu (2004), sin embargo, hacen hincapié en que estos resultados dependen de la habilidad del cliente (in situ) y su facilidad para tener un pronóstico certero de los estados a los que llegara el avance del proyecto según su planificación para que de esta manera sea posible determinar cuándo un componente será demandado para su instalación en campo.

II. Centros de logística

Los centros de logística pueden ser configurados con la finalidad de poder cumplir con la estrategia planteada alrededor de la cadena de abastecimiento global y local, venciendo los obstáculos impuestos por la variabilidad en cuanto a la demanda y abastecimiento de materiales, equipamiento y servicios (Hamzeh et al., 2007). Mediante esta alternativa es posible alcanzar el objetivo del diseño del proceso, el cual se concentra en minimizar inventarios, dimensionándolos de acuerdo a la variabilidad presente en el proyecto (Ballard, 2000). Los centros de logística actúan como un intermediario entre las compañías proveedoras donde es posible almacenar temporalmente, ensamblar previamente los

componentes o materiales antes de su llegada al lugar de ejecución, lo que genera plazos de entrega nulos en un caso ideal.

2.4. BUILDING INFORMATION MODELLING

Con la finalidad de hacerle frente a la conocida variabilidad y complejidad de la industria, se está adoptando y desarrollando nuevas técnicas y tecnologías en el área de la gestión, organización, colaboración, sistemas de ingeniería, manufactura y tecnologías de la información (Rischmoller, s/f). Sin embargo, la implementación de estas nuevas herramientas para la gestión trajo consigo un cambio de paradigmas. El uso de este tipo de herramientas, que la tecnología permite al día de hoy, necesariamente obliga a abordar los proyectos de manera diferente. Se debe tener en cuenta que, ahora, los proyectos deberán trabajarse de manera integrada por todos los involucrados del proyecto. Building Information Modelling (BIM) plantea cubrir estas falencias a partir de la reunión de todos los involucrados desde las etapas más tempranas de los proyectos respaldados por un modelo virtual en 3D.

2.4.1. DEFINICIÓN

Eastman et al (2008) definen BIM como una frase, verbo o adjetivo que describe herramientas, procesos y tecnologías que son facilitadas a través de una plataforma digital que permite la documentación de una edificación en su planificación, construcción y, posteriormente, su operación. El resultado de tener una actividad BIM es un modelo de información de la edificación. Los softwares usados se caracterizan por su habilidad para compilar de manera virtual objetos paramétricos de lectura mecánica que exhiben un comportamiento acorde con la necesidad de diseñar, analizar y probar en el diseño de una edificación (Sacks et al, 2004).

Asimismo, BIM también promueve las bases de nuevas capacidades para la construcción y reformas en las relaciones vigentes entre los participantes de los distintos equipos de proyecto. BIM facilita procesos de diseño y construcción con una mayor integración que dan como resultado edificaciones de mayor calidad a un costo y plazo de entrega menores (Eastman et al, 2008).

2.4.2. NIVEL DE DESARROLLO

El nivel de desarrollo, Level of Development (LOD) en inglés, es el grado en el que la geometría y la información están vinculadas a un elemento modelado. De acuerdo al LOD que presenta un modelo, la información que contenga será de mayor precisión. En el documento “Level of Development Specification” (2013), BIMForum interpreta las definiciones básicas de LOD desarrolladas por American Institute of Architects (AIA) en el documento AIA G202-2013.

Tabla 3. Especificación de LOD. Fuente: "Level of Development Specification", BIMForum (2013).

NIVEL DE DESARROLLO	DESCRIPCIÓN
LOD 100	Esquema referencial o símbolo que no dispone de información precisa en cuanto a forma, tamaño o posicionamiento exacto.
LOD 200	Modelo poseedor de información aproximada (tamaño, forma, orientación, posicionamiento y cantidad). Gráficamente representado como un sistema genérico, únicamente referencial.
LOD 300	El modelo se encuentra representado como un sistema específico contiene información en cuanto a: tamaño, forma, cantidad, ubicación y orientación. Sin embargo, no posee información gráfica exacta.
LOD 350	El modelo se encuentra representado como un sistema específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, orientación e interface entre otros sistemas de la edificación.
LOD 400	El modelo posee el detalle y la exactitud para la fabricación de los distintos sistemas que se encuentran equipados (MEP) a la edificación. Además, puede ser empleado para pre-fabricación.
LOD 500	Es la representación en el modelo verificado de la situación en campo. Podría recibir el nombre de modelo "As Built". Modelo a emplear en la etapa de "Operación y Mantenimiento".

2.4.3. IMPACTO DE BIM EN LOS PROYECTOS DE EDIFICACIONES

La literatura nos demuestra que una implementación temprana de los procesos BIM, es decir, desde el inicio del concepto del proyecto, y con la participación pertinente de los involucrados más importantes en cada fase, genera una influencia favorable en el costo. En otras palabras, es factible poder aplicar la mayoría de técnicas que se derivan del uso de un

modelo virtual BIM y obtener mayores beneficios. De esta manera, el proyecto se desplegará con una ganancia de valor permanente, con una reducción de desperdicios en cada una de sus etapas y como lo requiere el cliente, dentro del costo y plazos establecidos.

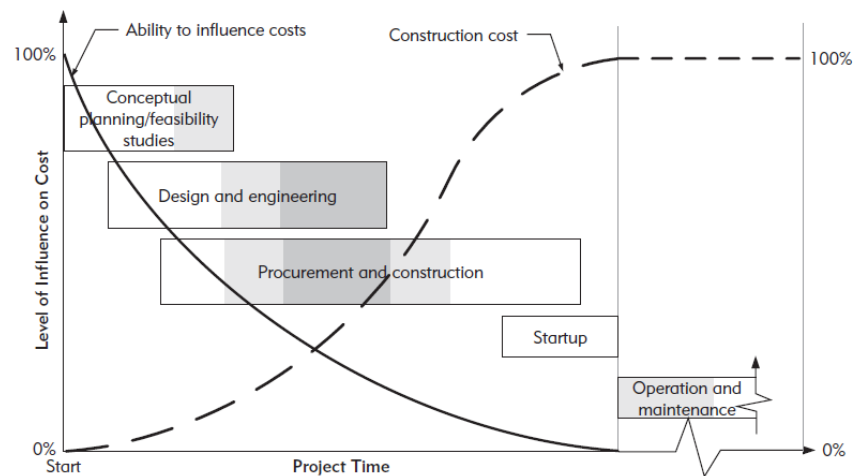


Ilustración 9. Influencia de BIM sobre el costo según su inicio de implementación en un proyecto. Fuente: BIM Handbook, Eastman (2008).

2.4.4. BIM EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

La implementación de un modelo virtual BIM luego de diseño es justificado. Entre las ventajas se encuentran, el uso dentro de la planificación y control en partidas de instalaciones mecánicas, instalaciones sanitarias, equipamiento en general y fabricación de componentes; la visualización de posibles soluciones para cambios en el diseño, la procura, entre otros (Eastman et al., 2008). Los beneficios que se pueden obtener de un modelo BIM en la etapa de construcción, se despliegan a continuación.

I. Detección de incompatibilidades

Existen distintos software comerciales disponibles que permiten a los equipos de proyecto integrar los distintos modelos virtuales en un modelo único con la finalidad de identificar los conflictos físicos entre las distintas especialidades (Khazode, 2010). Gracias a este procedimiento es posible documentar las interferencias y poder recurrir a ellas para resolverlas de manera conjunta entre las distintas especialidades involucradas en una reunión de coordinación realizada en sitio. Asimismo, es posible disminuir el tiempo de latencia, el cual se prolonga demasiado al seguir el protocolo tradicional de desarrollo de requerimientos de información (RFI).

II. Elaboración de presupuestos y cronogramas

A partir de un diseño maduro, es posible extraer de manera rápida el detalle de espacio y cantidad de materiales directamente del modelo de la edificación. Todos los software BIM proporcionan la capacidad de extraer la cantidad exacta de componentes, área, volumen de espacios, cantidades de material y reportarlos en distintas tablas y esquemas (Eastman et al., 2008). De esta manera, los modelos virtuales contribuyen relevantemente con la

cuantificación previa la cual será gestionada por los especialistas de costos. En otras palabras, es posible desarrollar un análisis de precios unitarios. Con esta información y la memoria de costos de la compañía es hacedera la elaboración del presupuesto.

Con el desarrollo de software especializados en presupuestos será factible estimar cuantificaciones de material y trabajo directamente de un software BIM. Además, será posible, de esta manera, trabajar con la ayuda de un software BIM y en colaboración el desarrollo de presupuestos de obra (Shen y Issa, 2010).

III. Análisis y planificación de la logística en construcción

La elaboración de un cronograma implica la visualización espacial y temporal de los eventos secuenciales que darán como resultado la edificación en un lugar determinado. El planeamiento realizado de manera convencional, siempre ha resultado obsoleto pues al ser producto de un análisis utópico, suele dejarse de lado desde las primeras semanas. La planificación apoyada por un modelo virtual da cabida a un modelo 4D que respalda el planeamiento in situ del proyecto. El objetivo de un modelo 4D en la planificación de la producción es promover un escenario virtual que permita simular y visualizar los procesos de producción y las distintas operaciones (Davies y Harty, 2013). De esta manera es posible identificar las raíces de los conflictos a tiempo con el objetivo de mejorar la eficiencia y la seguridad, así como mejorar el flujo de trabajo identificando los cuellos de botella tempranamente (Davies y Harty, 2013).

Los modelos 4D permiten a los ingenieros especializados en productividad realizar planificaciones más confiables, poder editarlas fácilmente y actualizarlas. Los beneficios más resaltantes de un cronograma sincronizado con un modelo virtual en 3D son (Eastman et al, 2008):

- Los profesionales responsables de la planificación pueden **comunicar** visualmente el plan de construcción a todos los participantes del proyecto.
- Los modelos 4D permiten **obtener** las opiniones de los involucrados en el desarrollo de la etapa de construcción.
- Los ingenieros de producción pueden **gestionar la logística** en obra de manera más eficiente.
- Los gerentes de proyecto pueden **fiscalizar** el cumplimiento de los hitos establecidos en el cronograma maestro.

IV. Prefabricación

La fabricación fuera del sitio del proyecto requiere una considerable planificación, además de un diseño certero que brinde la información adecuada. Es común que los contratistas fabriquen diversos componentes fuera del área del proyecto con la finalidad de reducir el costo de mano de obra y riesgos asociados a su instalación (Eastman, 2008).

El superintendente general del proyecto New Parkland Hospital en Estados Unidos sintetizó los beneficios obtenidos de la implementación de la prefabricación en el proyecto en el que participó (Moses, 2012):

- Mejora en la calidad del producto.
- Reduce la congestión en el lugar de la construcción.
- Mejora las condiciones de seguridad del lugar.
- Mejora la eficiencia de la planificación.
- Permite la mejora de cada estación de trabajo y actividad.

2.4.5. LOS PRINCIPALES INVOLUCRADOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Acabada la etapa de estructuras de un proyecto de construcción, es momento de concentrar esfuerzos en las partidas que requieren mayor detalle y calidad de terminación. Los acabados, el equipamiento y las instalaciones forman parte de la etapa de construcción, sin embargo, son ellas las que demandan una especial atención en su desarrollo. A continuación, se estudiará a los involucrados más importantes en esta etapa de la ejecución.

I. El Contratista General

El contratista general es quien administra el avance de la obra y quien fiscaliza la producción y los contratos establecidos con cada uno de los subcontratistas que realizan actividad alguna en el proyecto con la finalidad de cumplir con el costo y plazo de este. El contratista general se ha valido de distintas herramientas para llevar a cabo la gestión de la producción. Distintas metodologías de gestión han permitido obtener buenos resultados en cuanto a productividad en los proyectos donde han sido implementadas (Ballard, 2000). Es así que los modelos virtuales BIM se ensamblan a estas formas de trabajo existentes. La sinergia entre estos conceptos se acrecentó con el pasar del tiempo y surgieron nuevas técnicas para el empleo de estos modelos, los cuales aún siguen siendo de difícil implementación en un comienzo.

a. Implementación de modelos virtuales BIM

Se presentan dos escenarios para el contratista general cuando desea implementar un modelo virtual BIM. Por un lado, es posible que sea construido por ellos a partir de los planos en 2D elaborados por los proyectistas. Por otro lado, los proyectistas y subcontratistas han elaborado el proyecto empleando herramientas de modelado en 3D desde la concepción de este. En seguida, se muestran sus respectivos flujos de implementación (Eastman et al, 2008).

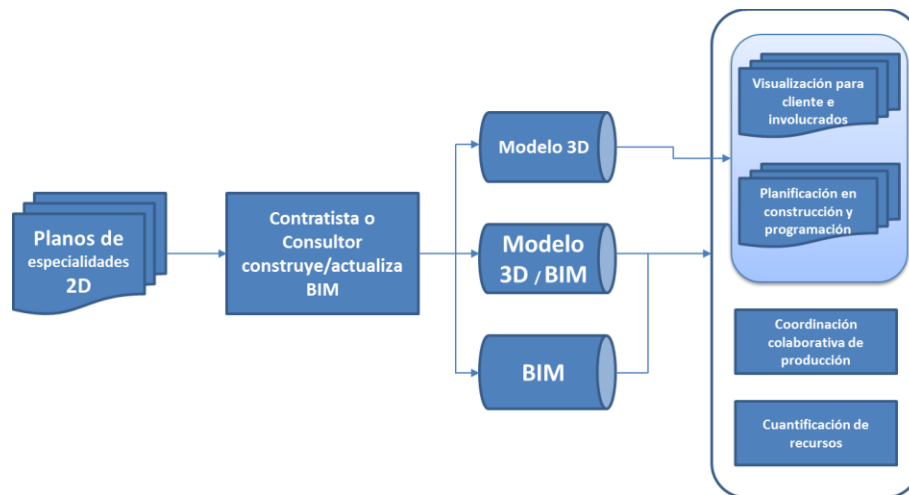


Ilustración 10. Flujo de procesos: Contratista construye su propio modelo a partir de planos 2D. Fuente: Adaptado de BIM Handbook. Eastman et al, (2008).

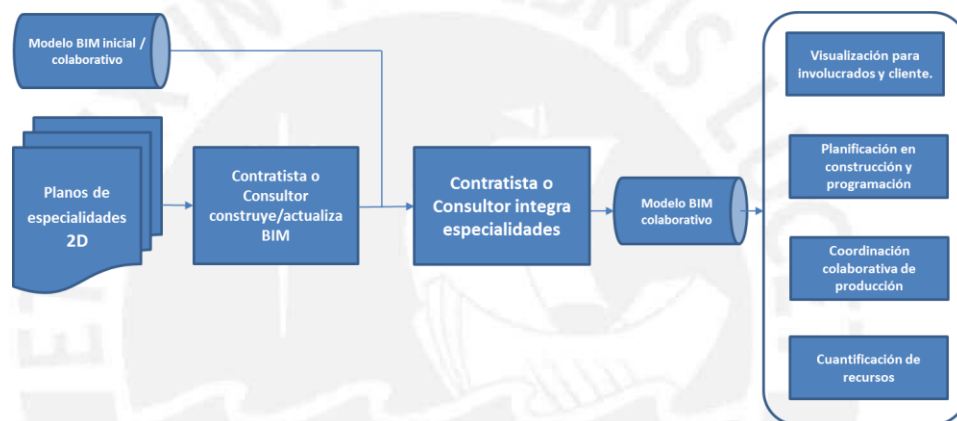


Ilustración 11. Flujo de proceso: Contratista recibe un proyecto modelado con herramientas BIM. Fuente: Adaptado de BIM Handbook, Eastman et al, (2008).

II. Los Subcontratistas

El rol de los subcontratistas es muy importante en el despliegue de un proyecto de construcción. Su participación se desarrolla en conjunto con la gestión del contratista general en la producción. Las labores a las que están especializados son muy diversas, estas van desde trabajos muy gruesos hasta trabajos con una ingeniería de detalle excepcional. Por esta razón es importante poder hacer una distinción entre ellos. Analizando el provecho que podrían obtener de un modelo BIM se pueden establecer estas tres categorías (Eastman, 2008) ligadas directamente a sus actividades:

- **Elaboración para inventarios:** Elementos y componentes de las instalaciones sanitarias, paneles de drywall y dispositivos que no requieren mayor detalle.
- **Elaboración ha pedido:** Tienen en cuenta la cuantificación adecuada. Por ejemplo: ventanas, puertas, elementos pretensados. Estos subcontratistas pueden obtener beneficio de una implementación BIM.

- **Diseñado a pedido:** Componentes personalizados que cubran las funciones de determinado sistema para la edificación o que ocupen un lugar específico dentro de esta. Este tipo de subcontratistas pueden obtener un beneficio sustancial de los modelos BIM.
 - Instalaciones mecánicas, eléctricas y sanitarias (MEP)
 - Acero estructural
 - Concreto prefabricado
 - Muros cortina
 - Acabados

Eastman et al. (2008) describen como la contribución más importante de BIM al trabajo de los contratistas, subcontratistas y fabricantes, la oportunidad de una construcción virtual previa. Desde la perspectiva de aquellos cuya responsabilidad es la elaboración de edificios, independientemente de si aportan desde dentro o fuera del emplazamiento de la obra, BIM no es solo una mejora sino una nueva manera de trabajar.

La interacción entre el contratista y subcontratistas a través de un modelo virtual BIM se ve optimizada en distintos aspectos. A continuación, profundizaremos en algunos de ellos y cómo repercute en la producción.

a. Menores pérdidas en la construcción

Una causa común que origina los extensos plazos de entrega de este tipo de proyectos son los planes de contingencia o colchones de tiempo introducidos por los subcontratistas, de manera voluntaria, para proteger su propia productividad, ya que, la cantidad de labor realizada por sus cuadrillas de trabajo es inestable e impredecible. Esto se debe a que los subcontratistas están propensos al riesgo de perder horas hombre (o reducir su productividad) a consecuencia de que otro subcontratista fracasase en cumplir sus compromisos para completar a tiempo el trabajo que se le otorgó o en caso los materiales no hayan sido entregados en el tiempo que se les requirió en el frente de trabajo, o en el diseño de la información o en el retraso de la toma de decisiones (Eastman et al, 2008).

BIM afecta la manera de trabajar de subcontratistas y fabricantes en cuatro aspectos desde el punto de vista de la construcción sin pérdidas (Eastman et al, 2008):

- **Mejora el flujo de trabajo.** La implementación de un modelo virtual en combinación con LPS incrementa la confiabilidad de la planificación y evita la interferencia de actividades entre las distintas cuadrillas en el frente de trabajo.
- **Promueve el trabajo colaborativo.** Los colchones de tiempo en la planificación de los subcontratistas pueden ser reducidos debido a una planificación de actividades semanales colaborativa e integrada.

- **Reduce los inventarios.** Debido a que el modelo virtual permite visualizaciones de elementos más exactos que conforman la edificación, y a su vez admite la prefabricación y el despliegue de “Pull Planning”.
- **Reduce la latencia.** Los requerimientos de información son resueltos de manera más rápida en una intervención colaborativa.

b. Mejora en la visualización

La manera de gestionar los modelos virtuales y el uso colaborativo de estos permite un menor uso de planos y vistas para que los capataces puedan visualizar las distintas partes del proyecto. Sesiones acompañadas de dispositivos que permiten una visualización a gran escala como proyectores, pantallas portátiles y computadoras hacen que el despliegue de información sea más amigable y sencillo.

En un caso de estudio realizado, un trabajador afirmó: “Algunas personas pueden trabajar de la mano de los planos en 2D y visualizar de manera sencilla el edificio en su mente, pero otros no, la visualización realmente es de gran ayuda” (Clemente y Cachadinha, 2013). La visualización de los modelos es un beneficio que se refleja en todos los trabajadores que lo experimentan.

2.4.6. CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN BIM

Poner en marcha un sistema BIM involucra más que únicamente el uso de un nuevo software, capacitación para su uso y un hardware en el que pueda ejecutarse. En efecto, el uso de BIM, implica un cambio en diversos aspectos de la compañía. La implementación de BIM requiere una sinergia entre las personas, tecnología y procesos involucrados.

Tabla 4. Consideraciones para la implementación BIM. Fuente: Propia.

Personas	<ul style="list-style-type: none"> • Poder convencer a las personas de que un modelo virtual es más versátil que los usuales planos en 2D. • Capacitar a las personas y profesionales involucrados para que puedan obtener todos los beneficios que permiten los modelos virtuales BIM. • Tener profesionales con conocimiento previo en sistemas de gestión compatibles con BIM.
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar procesos nuevos para actividades cotidianas que funcionen adecuadamente conjuntamente con un modelo virtual BIM. • Analizar las etapas en las que puede empezarse a implementar los modelos virtuales BIM y que no perjudiquen en un primer momento a la compañía.
Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Tener el hardware adecuado para poder desplegar de manera óptima las herramientas de los software BIM. • Poder realizar una inversión en tecnología para la implementación de este sistema.

2.5. SINERGIA ENTRE BIM Y LPS

En el desarrollo de este capítulo, se han comentado algunos casos en los que BIM, como herramienta, aporta en el despliegue de distintos procesos. Por citar algunos de los mencionados:

- a. La implementación de una programación 4D
- b. La pre fabricación y el pre ensamblaje
- c. La detección de incompatibilidades
- d. La elaboración de presupuestos y cronogramas
- e. El uso del modelo BIM para optimización de la producción de subcontratistas de acuerdo al tipo de trabajos que realiza
- f. La mejora en la visualización de lo planificado

BIM, como se puede observar, genera un mejor escenario para el desarrollo de procesos Lean y contribuye indirectamente con los objetivos de esta filosofía. BIM es de suma importancia en la etapa de construcción. Conocemos que la planificación colaborativa, es una de las mayores contribuciones de Lean Construction. Por medio de las herramientas BIM, los equipos de trabajo le sacan mayor provecho a una visualización del proyecto a través de los modelos en forma colaborativa (Dave et al., 2013).

2.5.1. IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN LPS

En el siguiente esquema desarrollado en las investigaciones de Ballard y Tommelein (2016) y de Huatuco (2017), se adaptaron las distintas herramientas de BIM en los niveles de planificación que posee LPS. En esta oportunidad, se le da mayor énfasis a la etapa de Lookahead Planning y Planificación Semanal, puntos centrales de esta tesis. En estos niveles, es donde, por medio de la visualización de la edificación y la información derivada del modelo según su LOD, es posible anticiparse a los problemas que pueden generar un estancamiento en la ejecución del planificado. De esta manera, puede lograrse una identificación de restricciones adecuada y su óptima liberación, el cual generará un back log de actividades listas para ser ejecutadas.

Adicionalmente, será posible medir el desempeño de la planificación realizada por medio de las métricas que posee LPS. Asimismo, retroalimentar y actualizar al modelo con la situación real en campo de los sistemas instalados, con la finalidad de obtener una representación adecuada de la realidad para las reuniones de coordinación colaborativas.

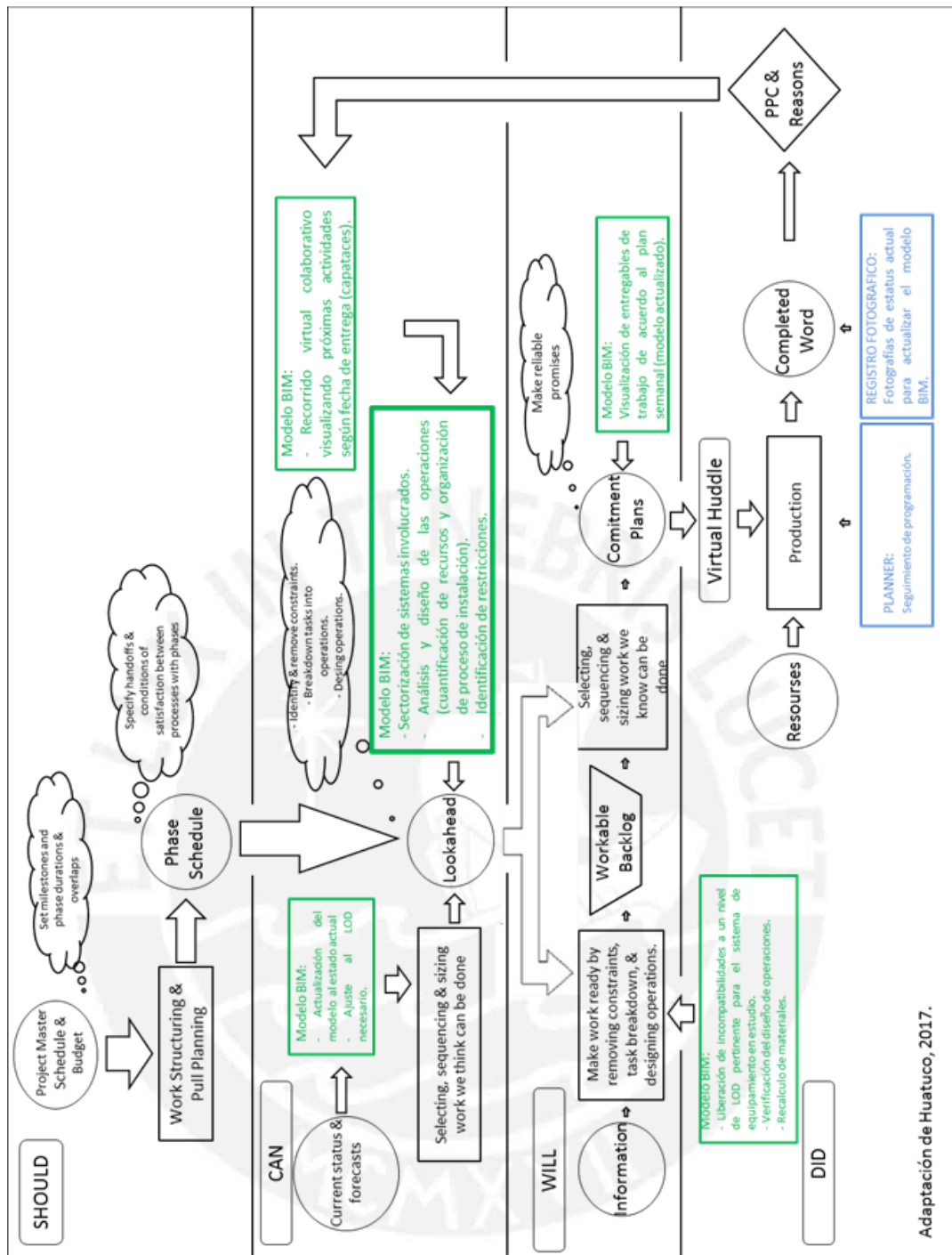


Ilustración 12. Niveles de planificación y aportes de las herramientas BIM en LPS. Fuente: Adaptado de Ballard y Tommelein (2016) y Huatucu (2017).

CAPÍTULO 3 **DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

La etapa de construcción en un proyecto de edificaciones posee una dinámica particular. En ella se despliega la logística para la realización de diferentes partidas con la finalidad de materializar lo desarrollado en etapas previas del proyecto (concepto y diseño). El siguiente capítulo busca analizar la situación actual en la que se encuentra la procura en construcción entre el contratista y sub contratista de los distintos proyectos de Lima Metropolitana a partir de una muestra determinada.

3.1. ENCUESTAS POR MUESTREO

Uno de los objetivos específicos de esta tesis, es analizar la situación actual en la que se encuentra la logística presente en proyectos de edificación en la etapa de construcción. Su desarrollo se presenta a continuación. La información fue obtenida a partir de encuestas elaboradas siguiendo los lineamientos y buenas prácticas sugeridas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI, 2011). Para esta tesis se pretende realizar una investigación por **muestreo no probabilístico**, pues se adecua de mejor manera a las condiciones que presenta la industria de la construcción local y a los recursos que se dispone para esta investigación.

3.1.1 FINALIDAD

Conocer a profundidad el despliegue de la ejecución del proyecto desde la perspectiva del contratista general en la etapa de construcción de un proyecto de edificación, en especial de las partidas de instalaciones, equipamiento y acabados.

3.1.2. OBJETIVO GENERAL

Conocer el nivel de gestión e industrialización en la etapa de construcción en los proyectos de edificaciones, el rol que cumple el contrato entre contratista general y subcontratista y el estado actual de la planificación, ejecución y control de las partidas en estudio.

3.1.3. UNIDADES DE ANÁLISIS

El concepto a estudiar es la planificación y ejecución de operaciones, por lo tanto, la unidad de análisis es el grupo de profesionales que pertenecen tanto al contratista general como al subcontratista en proyectos de edificación en etapa de construcción (Hernández, 2010). Por esta razón, se determinó como unidades de investigación para la encuesta de diagnóstico, a los proyectos de edificaciones en la etapa de construcción o terminados en los años 2015 y 2016.

3.1.4. DISEÑO MUESTRAL

I. Población objetivo

La población objetivo estará compuesta de los profesionales y responsables mostrados en la siguiente tabla y que, además, se encuentren participando de la etapa de construcción o

hayan participado en esta misma de un proyecto ya construido, dentro de los años 2015 y 2016.

Tabla 5. Tipos de usuarios a encuestar en proyectos de construcción. Fuente: Propia.

INVOLUCRADO	USUARIO A ENCUESTAR
Contratista general	Este formato fue dirigido, exclusivamente, a ingenieros residentes, ingenieros de producción o ingenieros pertenecientes a áreas de soporte en obra.

Cabe agregar, que para lograr una representatividad más cercana a la realidad de la población en estudio, la muestra a conveniencia será estratificada. El criterio de estratificación que se usará es el siguiente: Estratificación por tamaño de empresa. Esta estratificación, se realizará según la siguiente tabla:

Tabla 6. Tamaño empresas constructoras según su facturación anual y número de trabajadores. Fuente: Informe Estadístico Mensual 42, Marzo 2008 – Ministerio de Trabajo

Tamaño de empresa	Valor de producción	Número de trabajadores
Pequeña	< US\$ 6 500 000	< 50
Mediana	Hasta US\$ 25 000 000	Hasta 150
Grande	> US\$ 25 000 000	> 150

Asimismo, el siguiente cuadro nos muestra, con fines informativos, la proporción de tamaño de las empresas constructoras existentes en nuestro país en el año 2014. Este estudio fue realizado por la publicación “Peru: The Top 10’000 Companies 2015” y nos muestra un total de empresas constructoras de 652 que pertenecen a este ranking y sobre las que se realiza esta clasificación. El siguiente cuadro clasifica a estas empresas a partir de una valla de 25.9 millones de dólares en su facturación para distinguir las empresas medianas de las grandes.

Tabla 7. Distribución de empresas constructoras según tamaño. Fuente: Perú: The Top 10'000 Companies 2015"

Sector	Gran empresa (n° de empresas)	Mediana empresa (n° de empresas)
Construcción	72	580

II. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra, al ser un estudio estadístico no probabilístico, se debe realizar según los recursos que se dispongan y bajo los criterios definidos por la estratificación, en otras palabras, se establecerá un tamaño de muestra a conveniencia. En el caso de esta investigación se contó con una muestra de 60 unidades válidas de un total de 119 obtenidos. Se dejó de contar con los restantes debido a que no disponían de los datos básicos para su análisis o fueron desarrollados por usuarios ajenos a la población de análisis.

Se empleará como referencia para la estratificación, los resultados obtenidos del estudio realizado por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) que se titula: “20° Estudio, El mercado de edificaciones urbanas de Lima y Callao”. De este censo se obtuvo la tabla “Edificaciones de cuatro pisos o más según destino o distrito” que nos presenta el número de edificaciones del tipo al que se encuentra dirigida esta investigación y se encontraban en proceso de construcción en agosto del 2015.

Tabla 8. Proporción de tipos de proyectos en Lima y Callao. Fuente: Propia.

	Departamentos	Oficinas	Comercial	Otros	Mixto	TOTAL
Total de obras	1357	81	51	54	76	1619
% respecto al total	83.8%	5.0%	3.2%	3.3%	4.7%	100.0%

Tabla 9. Edificaciones de cuatro pisos o más según destino y distrito, agosto de 2015. Fuente: 20° Estudio, El mercado de edificaciones urbanas de Lima y Callao, CAPECO.

EL MERCADO DE EDIFICACIONES URBANAS EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO
EDIFICACIONES DE CUATRO PISOS O MÁS SEGÚN DESTINO Y DISTRITO
AGOSTO DE 2015
CUADRO 3.125

LOCALIZACIÓN		EDIFICACIONES DE MÁS DE CUATRO PISOS										TOTAL	
SECTOR URBANO	DISTR.	DEPARTAMENTOS		OFICINAS		LOCALES COMERC.		OTROS		MIXTO		N° OBRAS	%
		N° OBRAS	%	N° OBRAS	%	N° OBRAS	%	N° OBRAS	%	N° OBRAS	%		
1. Lima Top	1	133	9.80	24	29.63	2	3.92	8	14.81	2	2.63	169	10.44
	2	75	5.53	24	29.63	0	0.00	3	5.56	2	2.63	104	6.42
	3	14	1.03	0	0.00	2	3.92	0	0.00	1	1.32	17	1.05
	4	183	13.49	9	11.11	1	1.96	5	9.26	2	2.63	200	12.35
	5	59	4.35	2	2.47	4	7.84	2	3.70	1	1.32	68	4.20
2. Lima Moderna	1	31	2.28	1	1.23	0	0.00	1	1.85	3	3.95	36	2.22
	2	31	2.28	7	8.64	1	1.96	1	1.85	11	14.47	51	3.15
	3	44	3.24	3	3.70	1	1.96	0	0.00	4	5.26	52	3.21
	4	68	5.01	0	0.00	0	0.00	3	5.56	2	2.63	73	4.51
	5	116	8.55	2	2.47	1	1.96	3	5.56	2	2.63	124	7.66
	6	32	2.36	2	2.47	0	0.00	0	0.00	2	2.63	36	2.22
	7	59	4.35	3	3.70	2	3.92	0	0.00	1	1.32	65	4.01
3. Lima Centro	1	23	1.69	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	23	1.42
	2	30	2.21	0	0.00	1	1.96	1	1.85	3	3.95	35	2.16
	3	13	0.96	3	3.70	4	7.84	3	5.56	1	1.32	24	1.48
	4	6	0.44	0	0.00	2	3.92	1	1.85	2	2.63	11	0.68
	5	17	1.25	0	0.00	0	0.00	1	1.85	1	1.32	19	1.17
4. Lima Este	1	46	3.39	0	0.00	4	7.84	3	5.56	0	0.00	53	3.27
	3	4	0.29	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	0.25
	4	10	0.74	0	0.00	0	0.00	1	1.85	1	1.32	12	0.74
	5	15	1.11	0	0.00	1	1.96	0	0.00	2	2.63	18	1.11
	6	8	0.59	1	1.23	0	0.00	0	0.00	0	0.00	9	0.56
	7	41	3.02	0	0.00	7	13.73	2	3.70	1	1.32	51	3.15
	8	16	1.18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	3.95	19	1.17
5. Lima Norte	2	29	2.14	0	0.00	3	5.88	0	0.00	2	2.63	34	2.10
	3	3	0.22	0	0.00	2	3.92	3	5.56	1	1.32	9	0.56
	4	40	2.95	0	0.00	2	3.92	1	1.85	2	2.63	45	2.78
	5	9	0.66	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.32	10	0.62
	6	19	1.40	0	0.00	0	0.00	2	3.70	0	0.00	21	1.30
	7	1	0.07	0	0.00	2	3.92	0	0.00	14	18.42	17	1.05
6. Lima Sur	8	1	0.07	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.06
	1	41	3.02	0	0.00	2	3.92	3	5.56	2	2.63	48	2.96
	2	2	0.15	0	0.00	0	0.00	1	1.85	1	1.32	4	0.25
	3	2	0.15	0	0.00	2	3.92	1	1.85	2	2.63	7	0.43
	4	22	1.62	0	0.00	1	1.96	1	1.85	0	0.00	24	1.48
	5	7	0.52	0	0.00	0	0.00	1	1.85	0	0.00	8	0.49
	6	14	1.03	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	14	0.86
	7	3	0.22	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	0.19
	8	13	0.96	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	13	0.80
	10	9	0.66	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	9	0.56
	11	7	0.52	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	7	0.43
7. Callao	1	24	1.77	0	0.00	1	1.96	0	0.00	0	0.00	25	1.54
	2	5	0.37	0	0.00	1	1.96	0	0.00	1	1.32	7	0.43
	3	5	0.37	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.32	6	0.37
	4	23	1.69	0	0.00	1	1.96	1	1.85	1	1.32	26	1.61
	5	2	0.15	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.12
	6	2	0.15	0	0.00	1	1.96	2	3.70	1	1.32	6	0.37
TOTAL		1 357	100.00	81	100.00	51	100.00	54	100.00	76	100.00	1 619	100.00

FUENTE: CAPECO. Censo de edificaciones en proceso de construcción.

3.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA ENCUESTA

I. Estructura de la encuesta

El fenómeno a estudiar, como se ha mencionado previamente, se desarrolla a partir de la interacción de los dos involucrados principales: el contratista general y el subcontratista, para

cada partida. Teniendo en cuenta esta particularidad, se elaboró una encuesta dirigida a cada uno de ellos. Sin embargo, para que el análisis pueda llevarse a cabo de manera adecuada, se optó por presentar la misma estructura de encuesta para los dos formatos elaborados (ver anexos 1 y 2). La estructura que presentan las encuestas se describe a continuación. Cabe agregar que el formato dirigido a subcontratistas puede ser ejecutado en una investigación futura como continuación de esta.

Tabla 10. Estructura de la herramienta para el diagnóstico. Fuente: Propia.

BLOQUE	DESCRIPCIÓN
Nivel de gestión e industrialización	Pretende calificar el nivel de gestión y uso de distintos métodos en la etapa de construcción del proyecto. Además, calificar la frecuencia de uso de las herramientas de planificación que emplea y evaluar el nivel de industrialización que se promueve como contratista general o que se practica como subcontratista.
Contratos	Pretende calificar la importancia de aspectos que también forman parte de los contratos con subcontratistas además del costo y plazo. Además, conocer cuáles son las modalidades más frecuentes para la asignación de un subcontratista a una partida. Y, conocer la etapa en la que se involucra a los subcontratistas como parte de un proyecto de edificación.
Diagnóstico de la procura	Calificar el nivel de desarrollo de la planificación, ejecución y control. Asimismo, conocer el método de costeo, estimación del trabajo y la calidad de información brindada por el contratista general.
Miscelánea	Se elaboró esta sección para identificar otras características de interés que pueda presentar el proyecto, como: el nivel de prefabricación.

II. Tipo de encuesta

La encuesta fue elaborada para la recolección de datos cualitativos. Esta consta, en su mayoría, de preguntas de tipo cerrado cuyas respuestas fueron establecidas en la escala de Likert 1 al 7. El tipo de encuesta que se realizó fue: auto administrado y mediante entrevista personal, del total de 60 se logró una distribución de 85% y de 15 %, respectivamente.

No implemento	Muy raramente	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5	6	7

Ilustración 13. Escala de evaluación en encuestas. Fuente: Propia

Es importante acotar que la amplitud en la escala de evaluación de la encuesta responde a un mejor manejo de la información y con la finalidad de evitar respuestas encasilladas en valores fijos. De esta manera se pueden evaluar mejor las respuestas promedio. El uso de una escala de intensidad como la mostrada permite estructurar las opiniones bajo formas de respuesta en abanico según la evolución de actitud (Sulbarán, 2009).

III. Aplicación de cuestionario

La aplicación del cuestionario se realizó mediante 3 modalidades diferentes:

1. Visita a las diferentes obras de los distritos de la ciudad de Lima, para la aplicación del cuestionario mediante entrevistas personales.
2. Distribución del cuestionario a diferentes profesionales al alcance y colegas que forman parte de la industria, de manera virtual.
3. Distribución del cuestionario en eventos que promueven temas relacionados con esta investigación de empresas consultoras y revistas importantes.

3.1.6. COBERTURA DE LA ENCUESTA

I. Cobertura geográfica

La encuesta se realizó en la provincia de Lima Metropolitana.

II. Cobertura temporal

La encuesta se realizó dentro de los meses de abril, mayo, junio y julio del 2016.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la finalidad de realizar un análisis de datos ordenado, el siguiente acápite se desarrollará según la estructura que poseen las encuestas. Es importante recalcar que el total de encuestas resueltas obtenidas fue de 119 formatos, sin embargo, la cantidad de encuestas válidas para el estudio fue de 60. Esta depuración se debe a que las encuestas recibidas de manera virtual, no contaban con los datos necesarios para su análisis o no pertenecían al espectro de usuarios que se busca analizar en esta investigación.

3.2.1. BLOQUE 0 – INTRODUCCIÓN

El primer bloque consta de información general del usuario que respondió el cuestionario. Estos datos son importantes para la estratificación de la muestra que se planea realizar. Los datos generales que se obtuvieron se muestran a continuación.

El total de proyectos validos obtenidos es de 60. Se analizó el número de proyectos según el tamaño de la empresa contratista y se obtuvo los siguientes resultados: 23 pertenecían a una empresa grande, 21 a una empresa mediana, 13 a una empresa pequeña y 3 no figura el tamaño.

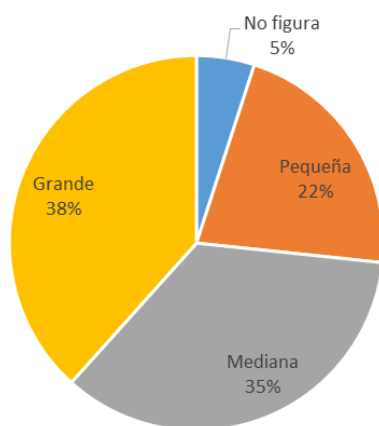


Ilustración 14. Proporción de proyectos según el tamaño de empresa. Fuente: Propia

Posteriormente, se clasificó los proyectos estudiados según el tipo propuesto en la estratificación y se obtuvo: 30 proyectos de vivienda, 12 proyectos de oficina, 5 comerciales, 12 como otro y 1 no figuran.

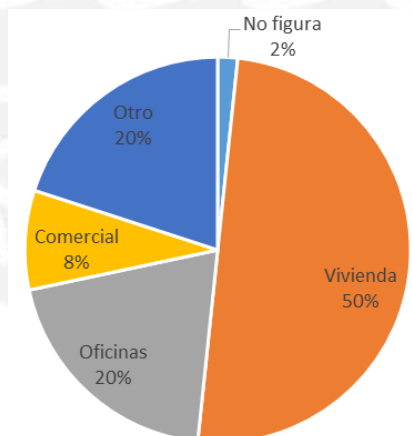


Ilustración 15. Proporción de proyectos según tipo. Fuente: Propia

3.2.2. BLOQUE I – NIVEL DE GESTIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN

Para el análisis del nivel de gestión e industrialización, se propusieron distintas preguntas que involucran la frecuencia de implementación de distintas herramientas de gestión. Además, se evalúa en qué etapas fueron implementadas para agregar valor durante el desarrollo de sus proyectos.

No implemento	Muy raramente	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5	6	7
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5

Ilustración 16. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.

I. Frecuencia de implementación de los sistemas de gestión en construcción

a. Análisis general

En primer lugar, la tabla 11, nos muestra la frecuencia promedio de uso de las herramientas de gestión más conocidas en la industria local.

Tabla 11. Frecuencia de implementación de los sistemas de gestión en construcción. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN	CALIFICACIÓN	FRECUENCIA	DESV. ESTANDAR
Last Planner	4.12	Ocasionalmente	2.03
PMBOK	2.60	Raramente	1.76
BIM	2.08	Muy raramente	1.73

Como resultado de este análisis, podemos determinar que existe una frecuencia de uso “ocasional”, con un valor de 4.12/7.00 en la herramienta Last Planner System. Con una menor calificación, se muestra la herramienta de gestión de proyectos: PMBOK, con una calificación de frecuencia de uso de “raramente”, que corresponde a un valor de 2.60/7.00. Finalmente, se tiene un valor promedio de 2.08/7.00 que corresponde a una frecuencia de uso “muy raramente” para la herramienta de gestión BIM.

b. Análisis según tamaño de empresa

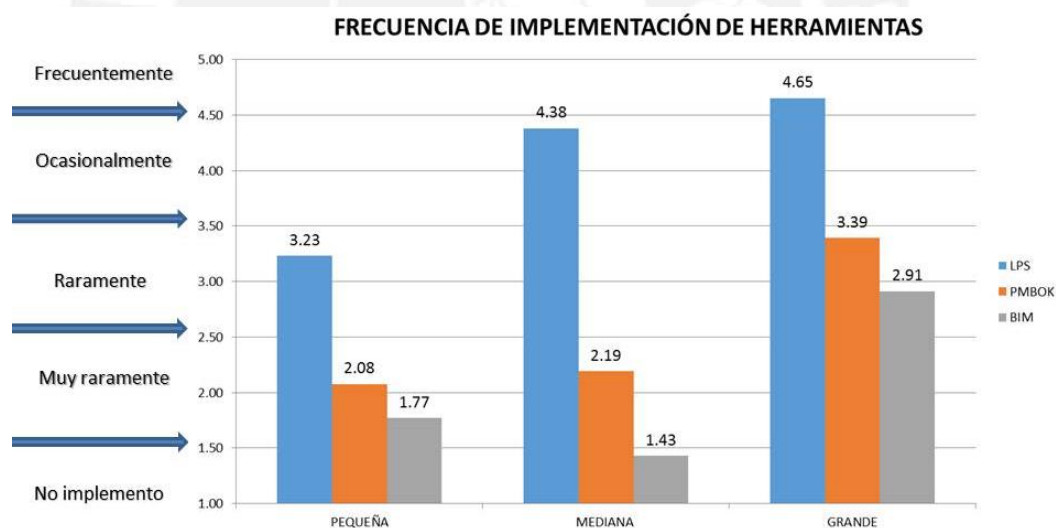


Ilustración 17. Frecuencia de implementación de herramientas según tamaño de empresa. Fuente: Propia.

Al realizar un análisis según el tamaño de empresas constructoras, se puede apreciar los siguientes resultados. La frecuencia promedio de uso de las herramientas LPS y PMBOK es directamente proporcional al tamaño de la empresa. Sin embargo, este no es el caso de BIM. La herramienta LPS posee una calificación de uso “frecuente”, “ocasional” y “raramente” para las empresas de tamaño grande, mediano y pequeño, respectivamente. La herramienta PMBOK posee la frecuencia promedio de uso “raramente” para empresas de tamaño grande y “muy raramente” para empresas de tamaño mediano y pequeño. Finalmente, cabe

mencionar que BIM posee la clasificación de “raramente” para empresas grandes y “muy raramente” para empresas pequeñas y “no es implementado” para empresas medianas. Los valores se aprecian en la ilustración 17.

II. Frecuencia de implementación de herramientas Last Planner

a. Análisis general

Para facilitar el entendimiento de los resultados, la escala se dividió en los rótulos mostrados.

No implemento	Muy raramente	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5	6	7
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5

Ilustración 18. Escala de frecuencia de implementación. Fuente: Propia.

En este caso se analizaron las preguntas 2 y 3 (ver anexo 1). Se evaluó la frecuencia de implementación de las herramientas LPS en la etapa de casco y en la etapa de acabados y equipamiento. Para ello, se elaboró una tabla comparativa de resultados con la finalidad de contrastar los valores obtenidos en cuanto al nivel de implementación de las herramientas Last Planner entre las dos etapas.

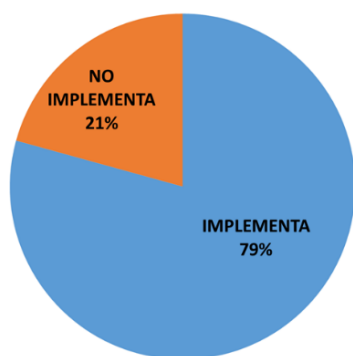
Tabla 12. Tabla de resultados de uso de herramientas Last Planner según etapa en la que se implementa. Fuente: Propia

HERRAMIENTAS	ESTRUCTURAS		ACABADOS Y EQUIPAMIENTO	
	MEDIA	DESV. ESTANDAR	MEDIA	DESV. ESTANDAR
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.82	1.88	3.63	2.02
Lookahead planning	4.47	2.23	4.00	2.27
Análisis de restricciones	4.53	2.14	3.98	2.25
Plan semanal	4.58	2.01	4.05	2.04
Plan diario	4.05	2.24	3.43	2.15
Medición del PPC	4.03	2.28	3.60	2.17
Análisis de causas de no cumplimiento de la programación	3.73	2.07	3.35	2.10

Dentro de la etapa de estructuras, es posible observar que la herramienta que posee mayor frecuencia de implementación es la de **Plan Semanal** con un promedio de 4.58 de calificación en la escala propuesta. La siguiente herramienta es el **Análisis de Restricciones** con un promedio de 4.53. Ambas herramientas son empleadas “frecuentemente” en la etapa de estructuras. En tercer lugar la herramienta **Lookahead Planning** posee una calificación de 4.47. Paralelamente, podemos concluir que las herramientas más usadas en la etapa de acabados y equipamiento son: el **Plan semanal** con 4.05, **Lookahead Planning** con 4.00 y **Análisis de restricciones** con 3.98, las que califican dentro de una frecuencia de implementación “Ocasional”.

Por otro lado, al analizar la desviación estándar se observan valores que oscilan entre 1.88 y 2.24 para la etapa de estructuras y valores que se encuentran entre 2.02 y 2.25 en la etapa de acabados y equipamiento. Estos valores nos indican que existe una variabilidad media en los resultados obtenidos respecto al promedio. Esta variabilidad representa la amplitud de respuestas obtenidas. Su valor, implica una variabilidad alta entre los proyectos encuestados. Esto será verificado por medio del análisis por tamaño de empresas constructoras.

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LPS - ESTRUCTURAS



IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LPS - ACABADOS Y EQUIPAMIENTO

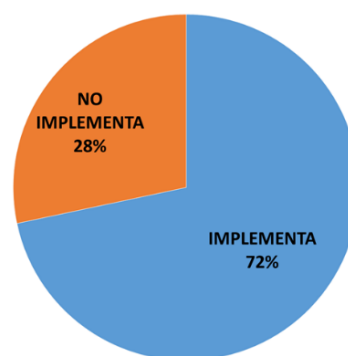
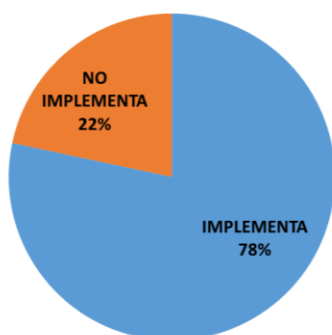


Ilustración 19. Porcentaje de implementación de herramientas LPS según etapa. Fuente: Propia.

De estos resultados en la ilustración 19, podemos afirmar que, para la muestra analizada, existe una frecuencia de implementación estadísticamente similar de las herramientas Last Planner en ambas etapas. Además, se puede observar que la **Planificación Colaborativa** con los subcontratistas es realizada “ocasionalmente”, siendo aún, un punto débil respecto a los demás aspectos con 3.82 y 3.63 respectivamente. Adicionalmente, podemos observar en la imagen 20 que el 30% de los encuestados no implementa una **Planificación Colaborativa** con los subcontratistas en la etapa de acabados y equipamiento, aspecto que guarda relación con la baja confiabilidad de la planificación en esta etapa de los proyectos. También, es posible afirmar que esta tendencia se repite en la etapa de estructuras, por haber una diferencia estadística mínima entre ambas etapas.

ESTRUCTURAS



ACABADOS Y EQUIPAMIENTO

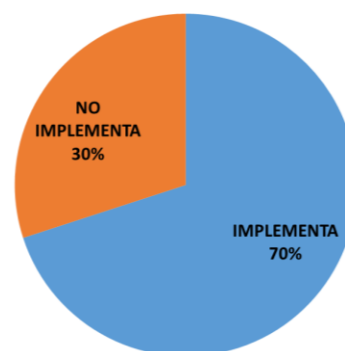


Ilustración 20. Porcentaje de implementación de la herramienta "Planificación Colaborativa con S/C" según etapa del proyecto. Fuente: Propia.

b. Análisis según tamaño de empresa

Para llevar a cabo un análisis más preciso se realizó un escrutinio según el tamaño de la empresa y en la etapa en la que se emplean estas herramientas. Su comportamiento nos ayudará a entender un poco más de la industria y su tendencia hacia la industrialización.

▪ **Etapa de estructuras**

A continuación, se presentan los promedios en el uso de las herramientas LPS en la etapa de estructuras según el tamaño de la empresa.

Tabla 13. Tabla comparativa de resultados del uso de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de estructuras. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.38	Raramente	3.95	Ocasionalmente	4.04	Ocasionalmente
Lookahead Planning	3.69	Ocasionalmente	4.38	Ocasionalmente	5.22	Frecuentemente
Análisis de restricciones	3.31	Raramente	4.71	Frecuentemente	5.26	Frecuentemente
Plan semanal	4.08	Ocasionalmente	4.52	Frecuentemente	5.26	Frecuentemente
Plan diario	3.23	Raramente	3.71	Ocasionalmente	4.96	Frecuentemente
Medición del PPC	2.15	Muy raramente	4.38	Ocasionalmente	5.09	Frecuentemente
Análisis de causas del no cumplimiento	2.85	Raramente	3.57	Ocasionalmente	4.61	Frecuentemente

Tabla 14. Tabla comparativa de resultados y desviación estándar del uso de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de estructuras. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
	MEDIA	DESV. EST.	MEDIA	DESV. EST.	MEDIA	DESV. EST.
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.38	1.97	3.95	1.94	4.04	1.85
Lookahead Planning	3.69	2.07	4.38	2.27	5.22	2.36
Análisis de restricciones	3.31	2.09	4.71	2.08	5.26	1.97
Plan semanal	4.08	1.79	4.52	2.02	5.26	2.06
Plan diario	3.23	2.06	3.71	2.35	4.96	2.20
Medición del PPC	2.15	1.95	4.38	2.20	5.09	1.77
Análisis de causas del no cumplimiento	2.85	2.19	3.57	2.11	4.61	1.28

Se puede apreciar como los resultados obtenidos de las encuestas nos muestran que en las empresas grandes no necesariamente predomina un uso permanente de las herramientas de LPS. Sin embargo, existen herramientas que son de uso frecuente o tienen un promedio relativamente alto. Este es el caso de **Análisis de Restricciones**, **Plan Semanal** y **Lookahead Planning**. Por otro lado las herramientas empleadas por empresas medianas que presentan la mayor frecuencia de uso son: **Análisis de restricciones** y el **Plan Semanal**, con un uso frecuente. Y, con un uso ocasional la herramienta de **Lookahead Planning**. En cuanto a las empresas pequeñas, es posible observar que la tendencia en la frecuencia de uso de las herramientas desciende a un nivel ocasional para las herramientas de **Lookahead Planning** y **Plan semanal**. Las demás herramientas presentan una implementación en “raras” o “muy raras” oportunidades.

Asimismo, se puede apreciar los valores promedio de frecuencia de implementación de mencionadas herramientas para las empresas grandes: **Análisis de restricciones**, **Lookahead Planning** y **Plan semanal** con 5.26, 5.22 y 5.26, respectivamente. Dichas herramientas entran en la calificación de uso frecuente. Mientras que en las empresas medianas, se aprecia que las herramientas presentan una frecuencia promedio de: 4.71 y 4.52, para **Análisis de Restricciones**, **Plan Semanal**, las que poseen una calificación de uso “frecuente”; y 4.38, **Lookahead Planning** que posee una frecuencia de uso “ocasional”. Para las empresas pequeñas, se observa que **Plan Semanal** es la herramienta que posee mayor importancia dentro de sus proyectos con una frecuencia de implementación promedio de 4.08, es decir posee un uso “ocasional” dentro de los proyectos.

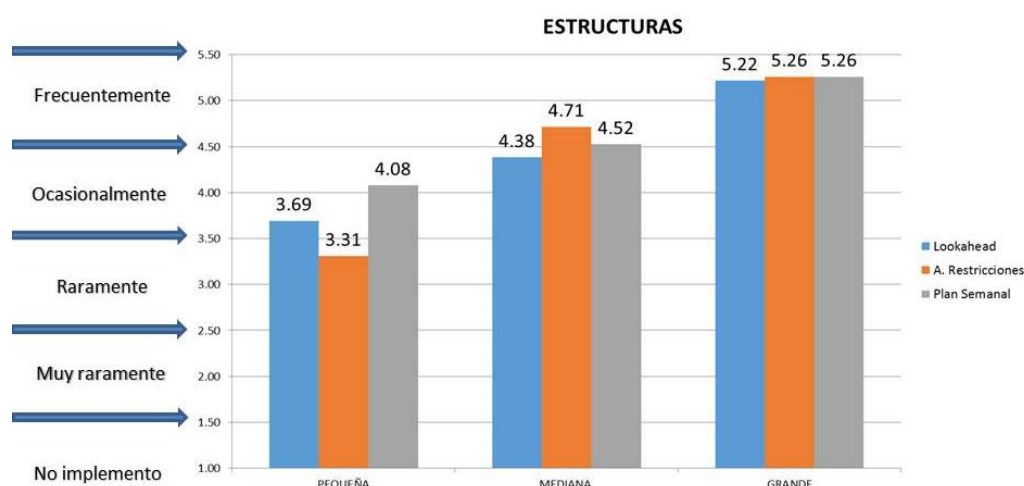


Ilustración 21. Frecuencia de uso de herramientas LPS en la etapa de estructuras. Fuente: Propia.

▪ Etapa de acabados y equipamiento

De la misma manera que se realizó previamente, se abordará, el análisis en las etapas de acabados y equipamiento. Se tendrá en cuenta la estratificación de tamaño de empresa. Los resultados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Tabla comparativa de resultados del nivel de implementación de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de acabados y equipamiento. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.15	Raramente	3.86	Ocasionalmente	3.91	Ocasionalmente
Lookahead Planning	3.15	Raramente	3.95	Ocasionalmente	4.70	Frecuentemente
Análisis de restricciones	2.92	Raramente	4.24	Ocasionalmente	4.48	Ocasionalmente
Plan semanal	3.46	Raramente	4.52	Frecuentemente	4.22	Ocasionalmente
Plan diario	3.00	Raramente	3.10	Raramente	4.04	Ocasionalmente
Medición del PPC	2.15	Muy raramente	4.14	Ocasionalmente	4.04	Ocasionalmente
Análisis de causas del no cumplimiento	2.54	Raramente	3.52	Ocasionalmente	3.83	Ocasionalmente

Tabla 16. Tabla comparativa de resultados y desviación estándar del nivel de implementación de herramientas LPS según el tamaño de la empresa en la etapa de acabados y equipamiento. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
	MEDIA	DESV. EST	MEDIA	DESV. EST	MEDIA	DESV. EST
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.15	1.86	3.86	2.13	3.91	2.23
Lookahead Planning	3.15	2.18	3.95	2.38	4.70	2.23
Análisis de restricciones	2.92	2.17	4.24	2.36	4.48	2.22
Plan semanal	3.46	2.02	4.52	1.99	4.22	2.07
Plan diario	3.00	2.18	3.10	2.30	4.04	1.96
Medición del PPC	2.15	2.14	4.14	2.31	4.04	1.57
Análisis de causas del no cumplimiento	2.54	2.25	3.52	2.32	3.83	1.27

Para la etapa de acabados y equipamiento se puede concluir, en base a la muestra, que la frecuencia de implementación de las distintas herramientas va decreciendo directamente con el tamaño de la empresa a la que pertenece el proyecto, excepto para los casos las herramientas de **Plan Semanal** y **Medición del PPC**. Entre las empresas grandes y medianas no existe una diferencia pronunciada respecto a la frecuencia de implementación de herramientas de LPS, sin embargo, esta si es mayor comparándolas con empresas pequeñas. Por un lado, las herramientas implementadas en las empresas grandes poseen, en su mayoría, una frecuencia de implementación ocasional, excepto **Lookahead Planning** que posee un

uso frecuente. Las herramientas con un mejor nivel de implementación en este tipo de empresas son: **Lookahead Planning**, **Análisis de Restricciones** y **Plan Semanal**. En cuanto a las empresas medianas, en su mayoría presentan una frecuencia de uso ocasional, excepto el **Plan Semanal**, que posee un uso frecuente. Las herramientas más implementadas son: **Plan Semanal**, **Análisis de restricciones** y **Medición del PPC**. Por otro lado, las herramientas analizadas en los proyectos de empresas pequeñas presentan, en su mayoría, una frecuencia de uso en raras y muy raras ocasiones. La herramienta más implementada en este tipo de empresas es el **Plan Semanal**, con un promedio de 3.46.

A continuación evaluaremos la frecuencia de uso de las herramientas más representativas de LPS. La herramienta predominante en las empresas grandes es el **Lookahead Planning**, seguida del **Análisis de Restricciones** y el **Plan Semanal** con los valores promedio de 4.70, 4.48 y 3.22, respectivamente. Por otro lado, los proyectos de empresas medianas presentan un promedio de 4.52, 4.24 y 3.95 para las herramientas de **Plan Semanal**, **Análisis de Restricciones** y **Lookahead Planning**.

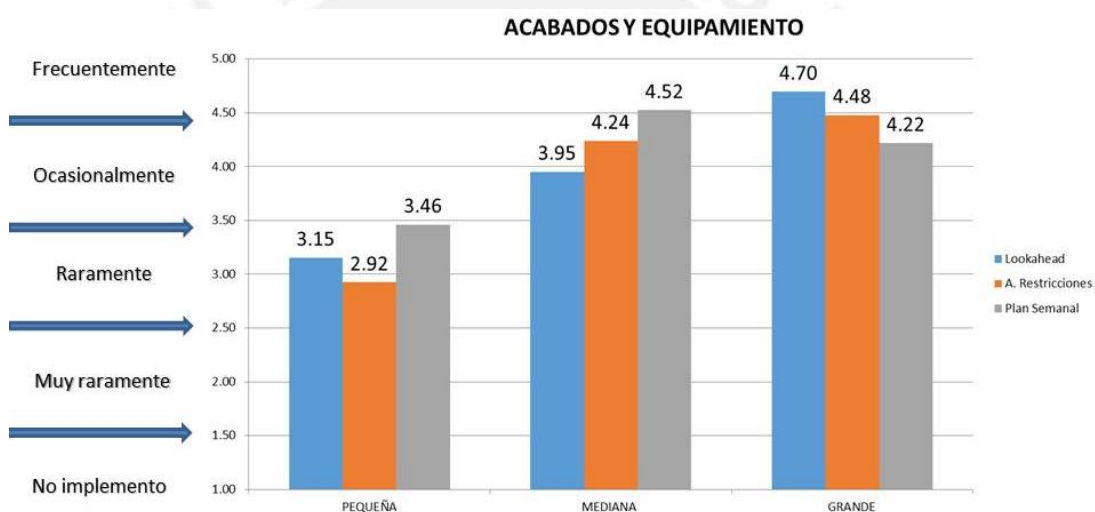


Ilustración 22. Frecuencia de implementación de herramientas LPS según tamaño de empresa en la etapa de Acabados y Equipamiento. Fuente: Propia.

De la tabla previa y los valores obtenidos en las encuestas, se puede apreciar que las empresas medianas y grandes poseen una tendencia creciente hacia el uso frecuente de las herramientas de planificación y análisis de restricciones. Esto nos hace advertir que existe una preocupación por realizar una planificación adecuada. En empresas grandes el énfasis se centra en la planificación a largo plazo, por medio del **Lookahead Planning**, mientras que en las empresas medianas, esta se encuentra enfocada en la planificación inmediata por medio del **Plan Semanal**. Cabe resaltar, que el empleo de estas herramientas es menor en la etapa de acabados y equipamiento en comparación con la etapa de estructuras.

III. Nivel de implementación BIM

En esta sección se analizaron algunas de las aplicaciones BIM más relevantes en la industria de la construcción. Mediante esta evaluación de resultados se planea obtener una fotografía

aproximada de la situación de BIM en el entorno local. Por medio de las encuestas fue posible obtener el porcentaje de implementación de estas aplicaciones BIM dentro de los diferentes proyectos de Lima Metropolitana. Los resultados se aprecian a continuación.

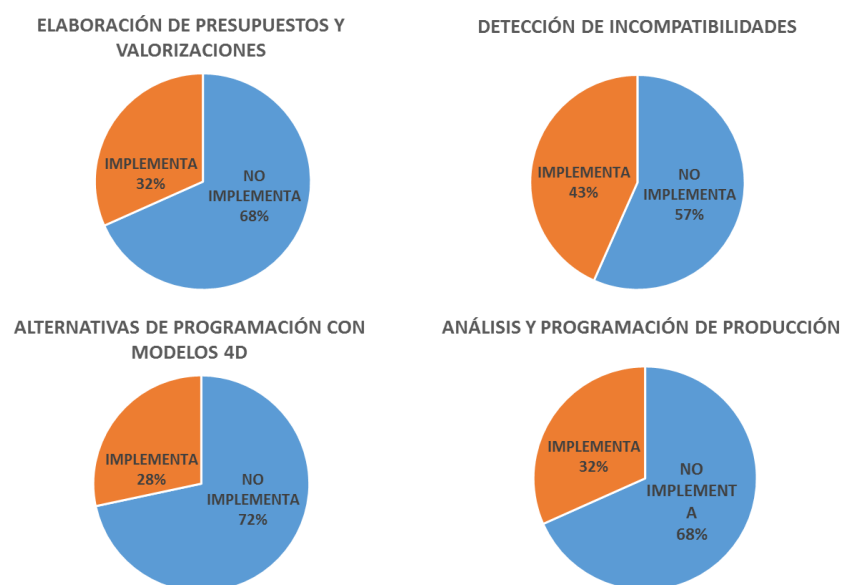


Ilustración 23. Porcentaje de implementación BIM en distintos aspectos de un proyecto de construcción. Fuente: Propia.

Para conocer el estado de la sinergia BIM y LPS que propone esta tesis, es de gran interés conocer el nivel de implementación BIM que existe en la industria. Sin embargo, se aprecian resultados nada alentadores. Valores que superan el 50% de no implementación nos permiten afirmar que los proyectos analizados poseen una baja tasa de industrialización y un planeamiento y ejecución que se encuentra distante de las últimas tendencias. Esto representa para la sinergia BIM – LPS, una brecha importante por reducir. El reto se encuentra en la elaboración de una adecuada guía de implementación LPS apoyada en modelos BIM.

a. Análisis general

No implemento	Muy raramente	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5	6	7
1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	

Ilustración 24. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.

Tabla 17. Nivel de implementación de las aplicaciones BIM en la muestra estudiada. Fuente: Propia.

APLICACIONES	PROMEDIO	CAUFICACIÓN	DES.V. ESTANDAR
Detección de incompatibilidades	2.80	RARAMENTE	2.20
Elaboración de presupuestos y valorizaciones	2.07	MUYRARAMENTE	1.72
Alternativas de programación con modelos 4D	1.97	MUYRARAMENTE	1.74
Análisis y programación de producción	2.07	MUYRARAMENTE	1.79

A partir de los resultados mostrados en la tabla previa, se puede determinar las frecuencias de uso de las distintas herramientas BIM. La aplicación de **Detección de Incompatibilidades** es la que posee una frecuencia de implementación más alta:

“Raramente”. Cabe resaltar, que las demás herramientas poseen una frecuencia de implementación similar que califica como “Muy Raramente”.

La conclusión que se puede obtener de este estudio es que existe aún un desconocimiento o falta de uso de BIM en los proyectos de la muestra, la cual representa el uso de esta herramienta en los proyectos de Lima Metropolitana. A pesar, de haberse obtenido porcentajes de implementación cercanos a 30.0%, se aprecia que la frecuencia de implementación es en “raras” ocasiones. Esta situación representa una oportunidad para el desarrollo de una metodología apoyada en la sinergia BIM - LPS. Estos resultados serán de gran interés, posteriormente.

b. Según el tamaño de empresa

De la mano de la escala propuesta, se obtuvo los resultados de la siguiente tabla.

Tabla 18. Frecuencia de implementación BIM según tamaño de empresa para la muestra estudiada. Fuente: Propia.

APLICACIONES	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
Detección de incompatibilidades	2.46	Muy raramente	1.95	Muy raramente	3.83	Ocasionalmente
Elaboración de presupuestos y valorizaciones	2.08	Muy raramente	1.52	Muy raramente	2.65	Raramente
Alternativas de programación con modelos 4D	1.85	Muy raramente	1.24	No implemento	2.83	Raramente
Análisis y programación de producción	2.00	Muy raramente	1.57	Muy raramente	2.57	Raramente

En cuanto a los proyectos llevados a cabo por empresas grandes, se puede apreciar que la herramienta más implementada es la **Detección de Incompatibilidades** con 3.83. Efectivamente, es una aplicación muy difundida en la industria local, hoy en día. Debajo de ella, se encuentra, con mayor implementación, **Alternativas de Programación con Modelos 4D** con 2.83. Y finalmente, se encuentran las aplicación en **Elaboración de Presupuestos y Valorizaciones** con 2.65 y el **Análisis y Programación de Producción** con 2.57.

Por otro lado, por parte de las empresas medianas es implementado en Muy raras ocasiones, La **Detección de incompatibilidades** con 1.95 en frecuencia de implementación, **Análisis y Programación de Producción** con una calificación de 1.57, luego la aplicación de **Elaboración de Presupuestos y Valorizaciones** con 1.52 y finalmente, **Alternativas de programación con modelos 4D** con 1.24, la cual entra en la categoría de no implemento.

Finalmente, a partir de estos resultados, se puede apreciar la falta de difusión de técnicas BIM que emplean conjuntamente tecnología, procesos y personas. En el siguiente diagrama de Pareto, se aprecia la cantidad de respuestas obtenidas por herramienta según la estratificación. La cantidad de respuestas que hacen referencia a la no implementación (rojo) es notablemente superior al número de respuestas positivas obtenidas, confirmando que la implementación en la industria local es aun escasa.

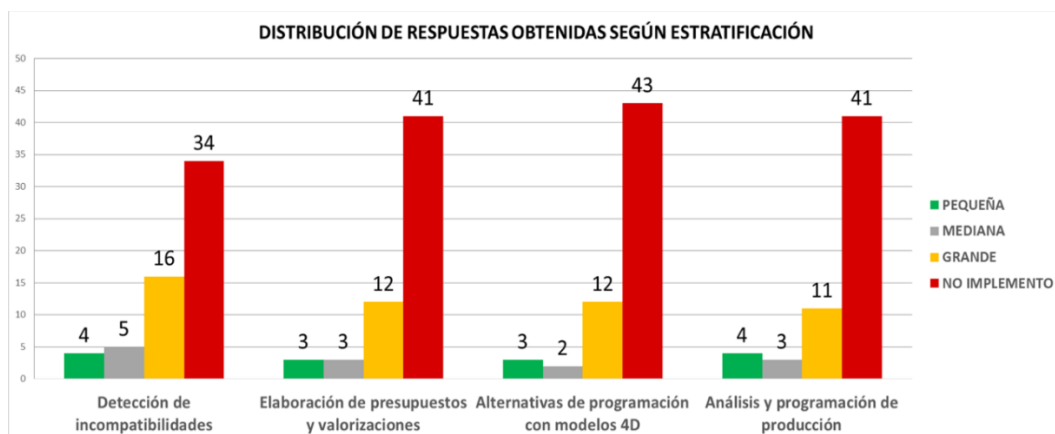


Ilustración 25. Cantidad de respuestas según aplicaciones BIM y según tamaño de empresa. Fuente: Propia.

3.2.3. BLOQUE II – CONTRATOS

En este bloque se buscó analizar la frecuencia con la que ciertos aspectos forman parte de los contratos estipulados entre el contratista general y los distintos subcontratistas de las partidas en estudio.

I. Análisis general

Se procedió a analizar los resultados obtenidos de manera global, para identificar las tendencias en los aspectos contractuales, haciendo uso de la escala propuesta para este trabajo de investigación. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

No implemento	Muy raramente	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5	6	7
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5

Ilustración 26. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.

Tabla 19. Frecuencia en la consideración de aspectos en los contratos realizados a subcontratistas. Fuente: Propia.

ASPECTOS CONTRACTUALES	FRECUENCIA	DESDEV. ESTANDAR
Metrado de alta precisión	4.72 Frecuentemente	1.79
Propuesta de sectorización	4.03 Ocasionalmente	2.18
Participación semanal en las actividades de planificación	4.43 Ocasionalmente	1.92
Tolerancias en el acabado y terminación de la partida	4.45 Ocasionalmente	2.06

Se puede observar que, el **Metrado de alta precisión** es un ítem considerado de manera frecuente, respecto a los demás valores, con 4.72 de calificación en la escala propuesta. Por otro lado tenemos, a los aspectos considerados ocasionalmente como: las **Tolerancias en el acabado y terminación de la partida** con 4.45, la **Participación semanal en las actividades de planificación** con 4.43 y **Propuesta de sectorización** con 4.03. Se aprecia en los resultados de las encuestas, que existe una tendencia creciente hacia hacer obligatoria la planificación colaborativa dentro de los contratos a subcontratistas. De esta manera se logrará fomentar el compromiso por el cumplimiento de plazos y liberación conjunta de restricciones.

Los valores de desviación estándar nos indican la variabilidad en la frecuencia de implementación de los distintos aspectos contractuales evaluados en los proyectos estudiados en la ciudad de Lima . En el caso del “**Metrado de alta precisión**”, el valor de 1.79 nos indica que se tiene mayor recurrencia en el uso frecuente de este aspecto en los proyectos de la industria entre los aspectos contractuales, en comparación con los demás. Asimismo, se puede apreciar que el aspecto que presenta mayor variabilidad es la “**Propuesta de sectorización**” con 2.18.

i. Análisis según tamaño de empresa

De la misma manera, se realizó el análisis según tamaño de empresa. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 20. Frecuencia en la consideración de aspectos en los contratos realizados con los subcontratistas según el tamaño de la empresa a la que pertenece el proyecto. Fuente: Propia.

ASPECTOS CONTRACTUALES	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
Metrado de alta precisión	4.92	Frecuentemente	4.71	Frecuentemente	4.74	Frecuentemente
Propuesta de sectorización	3.62	Ocasionalmente	4.52	Frecuentemente	4.13	Ocasionalmente
Participación semanal en las actividades de planificación	4.00	Ocasionalmente	4.90	Frecuentemente	4.57	Frecuentemente
Tolerancias en el acabado y terminación de la partida	4.77	Frecuentemente	4.43	Ocasionalmente	4.70	Frecuentemente

Los aspectos considerados con mayor frecuencia dentro de los contratos, varían según el tamaño de la empresa. Como se puede observar, se tiene en las empresas pequeñas, el aspecto de **Metrado de alta precisión** con 4.92, es decir, este aspecto es considerado frecuentemente dentro de un contrato. Esta herramienta también es la usada con más frecuencia en empresas grandes, con un valor promedio de 4.74. Sin embargo, las empresas medianas priorizan la **Participación semanal en las actividades de planificación** como un ítem frecuente dentro de sus contratos a subcontratistas.

En síntesis, se puede apreciar, que para la muestra, existe una tendencia a involucrar más al subcontratista con aspectos relacionados a la logística en la etapa de construcción. Además, se observa que existe una alta frecuencia en la solicitud de entregables como son: metrados, sectorizaciones y tolerancias, pero también existe una preocupación en hacer que el subcontratista participe en las actividades de planificación de la construcción del proyecto. Es posible concluir que, uno de los aspectos considerados con mayor frecuencia, independientemente, del tamaño de la empresa es el Metrado de alta precisión.

3.2.4. BLOQUE III – DIAGNÓSTICO DE LA PROCURA

El siguiente bloque está destinado al análisis de la logística en construcción. La logística se analizará desde los aspectos de planificación, ejecución y control. Este análisis será realizado por medio de la calificación de estos aspectos para una serie de partidas comunes dentro de un proyecto de edificación convencional. Las partidas en análisis son las siguientes:

- Instalaciones mecánicas (IIMM), como por ejemplo: instalaciones de extracción de monóxido, aire acondicionado, etc.
- Instalaciones de agua contra incendios (ACI).
- Instalaciones sanitarias (IISS), como: instalaciones de agua fría, agua caliente y desagüe.
- Instalaciones eléctricas (IIEE), como: ductos para cableado de tomacorrientes, sistema de iluminación, energía en general, etc.
- Muro cortina y vidrios, de ser el caso.
- Puertas, como una partida de poca dificultad y que nos permitirá corroborar el despliegue de la logística en partidas simples.

I. Análisis de la planificación

A través de esta sección de la encuesta, se buscó obtener la opinión del usuario encuestado sobre la frecuencia de planificación de las partidas antes mencionadas. Los resultados se muestran a continuación y han sido ordenados de mayor a menor calificación promedio dentro de la escala propuesta.

No implemento	Muy raramente	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5	6	7
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5

Ilustración 27. Escala de frecuencias. Fuente: Propia.

Tabla 21. Frecuencia en la planificación de las partidas en estudio. Fuente: Propia.

PARTIDAS	FRECUENCIA		DESV. ESTANDAR
Instalaciones electricas	5.10	Frecuentemente	1.55
Instalaciones sanitarias	5.02	Frecuentemente	1.58
Muro cortina / Vidrios	4.77	Frecuentemente	1.87
Instalaciones mecánicas	4.57	Frecuentemente	1.76
Instalaciones de agua contra incendio	4.52	Frecuentemente	1.76
Puertas	4.30	Ocasionalmente	1.87

Se puede apreciar que, únicamente, la partida **Puertas**, presenta una frecuencia “ocasional”, en cuanto a su planificación dentro los proyectos de construcción. Por otro lado, es posible afirmar, que las demás partidas analizadas poseen una planificación “frecuente”, dentro de la escala de valoración. Se estima que la frecuencia de planificación de una partida se encuentra ligada a la complejidad que denota su ejecución. Finalmente, se verifica que la partida que requiere menos planificación es la de puertas con 4.30 pues es de fácil ejecución.

En cuanto a la desviación estándar, se puede apreciar que los valores se encuentran entre 1.55 y 1.87. Esta amplitud en las respuestas nos muestra que existe un comportamiento similar para las partidas en la muestra analizada. Cabe agregar, que se tiene una desviación alta cuando se presenta una alta variabilidad entre los proyectos encuestados en cuanto a la frecuencia de planificación de una partida.

II. Análisis de la ejecución

En esta sección se analizará el nivel de cumplimiento de la planificación que logra cada una de las partidas respecto a lo programado. Mediante la escala propuesta, se buscó calificar la confiabilidad que poseen en su planificación.

Nulo	Muy Bajo	Bajo	Intermedio	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5	6	7

Ilustración 28. Escala de valoración de la confiabilidad de la planificación. Fuente: Propia.

Tabla 22. Nivel de cumplimiento de la planificación respecto a lo programado. Fuente: Propia.

PARTIDAS	CALIFICACIÓN		DESV. ESTANDAR
Instalaciones sanitarias	4.85	Moderado	1.50
Instalaciones eléctricas	4.78	Moderado	1.54
Muro cortina/Vidrios	4.22	Intermedio	1.73
Instalaciones de agua contra incendios	4.20	Intermedio	1.76
Instalaciones mecánicas	4.17	Intermedio	1.64
Puertas	4.00	Intermedio	1.82

De acuerdo a la escala de cumplimiento, se obtuvo a las partidas de **IISS** e **IIEE** bajo un cumplimiento “moderado”. Las demás partidas presentaron un cumplimiento menor, calificado como “intermedio”. Se observó que las partidas con menor confiabilidad en la planificación son ejecutadas en las etapas de acabados y equipamiento: **IIMM**, **ACI** y **Puertas**.

III. Análisis del control

En esta sección se analizará el nivel de monitoreo en campo (calidad y producción) de cada una de las partidas estudiadas. En la siguiente imagen, se muestra la escala a emplear para la calificación del nivel de control de partidas en campo.

Nulo	Muy Bajo	Bajo	Intermedio	Moderado	Alto	Muy alto
1	2	3	4	5	6	7

Ilustración 29. Escala de valoración de nivel de monitoreo en campo. Fuente: Propia.

Tabla 23. Nivel de monitoreo en campo de las partidas en estudio. Fuente: Propia.

PARTIDAS	CALIFICACIÓN		DESV. ESTANDAR
Instalaciones eléctricas	5.00	Moderado	1.89
Instalaciones sanitarias	4.85	Moderado	1.87
Muro cortina/Vidrios	4.68	Moderado	1.88
Instalaciones de agua contra incendio	4.55	Moderado	1.77
Instalaciones mecánicas	4.55	Moderado	1.73
Puertas	4.48	Intermedio	1.84

De los resultados mostrados en la tabla se pueden realizar algunas afirmaciones. La partida con mayor nivel de monitoreo, según los profesionales encuestados, es la de **IIEE** 5.00 e **IISS** con 4.85 según la escala propuesta. Luego, siguen las partidas de muro **Cortina/Vidrios**, **ACI** e **IIMM** con 4.68, 4.55 y 4.55, respectivamente. En último lugar, se encuentra la partida de **Puertas**, la cual tiene un nivel bajo de monitoreo respecto a las demás, calificado como “intermedio” a diferencia de las primeras mencionadas, con nivel

“moderado”. Se puede apreciar que se presentan con los menores niveles de control, las partidas de **IIMM, ACI y Puertas**.

Resumen de Resultados

Finalmente, en esta sección se presenta el resumen de las tablas de resultados mostradas en este acápite.

Tabla 24. Frecuencia en la planificación de las partidas en estudio. Fuente: Propia.

PARTIDAS	FRECUENCIA		DESV. ESTANDAR
Instalaciones electricas	5.10	Frecuentemente	1.55
Instalaciones sanitarias	5.02	Frecuentemente	1.58
Muro cortina / Vidrios	4.77	Frecuentemente	1.87
Instalaciones mecánicas	4.57	Frecuentemente	1.76
Instalaciones de agua contra incendio	4.52	Frecuentemente	1.76
Puertas	4.30	Ocasionalmente	1.87

Tabla 25. Nivel de cumplimiento de la planificación respecto a lo programado. Fuente: Propia.

PARTIDAS	CALIFICACIÓN		DESV. ESTANDAR
Instalaciones sanitarias	4.85	Moderado	1.50
Instalaciones electricas	4.78	Moderado	1.54
Muro cortina / Vidrios	4.22	Intermedio	1.73
Instalaciones de agua contra incendios	4.20	Intermedio	1.76
Instalaciones mecánicas	4.17	Intermedio	1.64
Puertas	4.00	Intermedio	1.82

Tabla 26. Nivel de monitoreo en campo de las partidas en estudio. Fuente: Propia.

PARTIDAS	CALIFICACIÓN		DESV. ESTANDAR
Instalaciones electricas	5.00	Moderado	1.89
Instalaciones sanitarias	4.85	Moderado	1.87
Muro cortina / Vidrios	4.68	Moderado	1.88
Instalaciones de agua contra incendio	4.55	Moderado	1.77
Instalaciones mecánicas	4.55	Moderado	1.73
Puertas	4.48	Intermedio	1.84

A partir de estas se puede concluir lo siguiente:

- Los menores promedios en el análisis de la planificación, ejecución y control lo poseen las partidas de: **IIMM, ACI y Puertas**.
- Los valores obtenidos responden a un patrón en particular. Se presenta una valoración de una mayor frecuencia de planificación respecto del nivel de cumplimiento y, del nivel de monitoreo en campo, en el caso de las partidas de **IIMM y ACI**.

Frecuencia en planificación > Monitoreo en campo > Cumplimiento de programación

- El caso de la partida de **Puertas**, escapa de este análisis pues es una partida que no posee una alta complejidad en su desarrollo.
- Se puede concluir que a pesar de la planificación realizada y el monitoreo sobre las distintas partidas, el cumplimiento de la programación no es del todo exitoso.

Estos resultados nos muestran que, existe un deficiente actuar sobre como planificar, ejecutar y controlar este tipo de partidas. Esta tesis presenta una oportunidad para agregar valor desde la etapa de acabados y equipamiento dentro de un proyecto de edificaciones en ejecución.

3.2.5. BLOQUE IV – MISCELÁNEA

En esta sección se desarrolló el análisis de una pregunta libre. Mediante estas conclusiones se busca conocer las potenciales partidas que obtendrían mayor beneficio de la implementación de una metodología que presente la sinergia entre BIM y LPS en la etapa de acabados y equipamiento. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la muestra descrita previamente.

i. Prefabricación

En esta sección se muestra el nivel de prefabricación que posee cada una de las partidas estudiadas. Se presenta un cuadro resumen con los valores promedio calculados a partir de las respuestas.

Tabla 27. Nivel de prefabricación de las partidas en estudio. Fuente: Propia.

PARTIDAS	CALIFICACIÓN		DESV. ESTANDAR
Muro cortina / Vidrios	3.97	Intermedio	2.10
Puertas	3.95	Intermedio	1.96
Instalaciones mecánicas	3.65	Intermedio	1.87
Instalaciones de agua contra incendio	3.22	Bajo	1.84
Instalaciones sanitarias	2.98	Bajo	1.74
Instalaciones eléctricas	2.95	Bajo	1.73

De los resultados se puede realizar una distinción muy pronunciada en cuanto al nivel de prefabricación. Por un lado, se presentan tres partidas con un nivel de prefabricación calificado como “Intermedio”, las cuales son: **Muro cortina / Vidrios**, **Puertas** e **IIMM**. Por otro lado, se presentan las tres partidas restantes, calificadas con un nivel de prefabricación “Bajo”: **ACI**, **IISS** e **IIEE**. Estos resultados, representan un indicio de partidas a las que la sinergia BIM – LPS impactaría positivamente por su naturaleza de prefabricación

Continuando con el análisis, a partir de los resultados que muestra la tabla, se pueden obtener algunas conclusiones derivadas de la muestra en estudio. Según lo obtenido del cuestionario, se puede determinar que la partida que posee un mayor nivel de pre fabricación es la de **Muro cortina y Vidrios** con 3.97. Después, se tiene la partida de **Puertas** con 3.95, seguida de **IIMM** con 3.65. Posteriormente, se tiene a la partida de **ACI**, **IISS** e **IIEE** con 3.22, 2.98 y 2.95, respectivamente.

A partir de este análisis es posible concluir lo siguiente para los proyectos que forman parte de la muestra. Las partidas de **Muro cortina y Vidrios**, al igual que **Puertas** e **IIMM**, poseen una pre fabricación “Intermedia”, lo que quiere decir que son elementos que son fabricados fuera del sitio de la obra y llegan a ella para ser instalados rápidamente. Por otro lado, las condiciones de muchos proyectos, no permite un despliegue similar para partidas como **ACI**, **IISS** y **IIEE**, pues su dimensionamiento y ensamblaje se realiza en el sitio del proyecto a partir del material que llega a obra, este caso se puede apreciar en la mayoría de proyectos de Lima.

CAPÍTULO 4 CASO DE ESTUDIO – MADRE

En esta sección se experimentará la implementación de reuniones de planificación en el frente de sótanos, específicamente, del sótano 1, dada la complejidad de este nivel. Las reuniones serán espacios de coordinación de todos los involucrados en la ejecución de este espacio físico. En ellas, se buscará generar la sinergia adecuada entre el modelo BIM y las herramientas LPS con la finalidad de mejorar la confiabilidad en la planificación y contrarrestar la variabilidad, enfocándonos en las partidas de equipamiento. Adicionalmente, se comentarán los casos más representativos de su uso.

4.1. ALCANCES GENERALES

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Multifamiliar MADRE es de tipo inmobiliario de vivienda dirigida al sector A de la población. Se ubica cerca de la zona comercial de Miraflores. Esta edificación consta de 6 sótanos, 17 pisos y una azotea. La edificación consta de 142 departamentos. A continuación, se procederá a describir cada especialidad que integra este proyecto.



Ilustración 30. Edificio Multifamiliar Madre. Fuente: Afiche publicitario de Inmobiliaria Plenum.

I. Estructuras

La estructura de este proyecto es conformada por un sistema aporticado, es decir, consta de vigas y columnas. Cabe destacar que, posee una particularidad que lo caracteriza: es una edificación con aislamiento sísmico. Esta posee tres niveles de aislamiento, que separan la estructura superior (torre) y la caja de ascensores de los sótanos. Como se puede apreciar en la imagen 29, el nivel de aislamiento de mayor área corresponde al nivel +0.13 m, cota

perteneciente al sótano 1. Esta característica del proyecto genera que la altura entre piso de este sótano sea mayor que la de los demás y posea un nivel de vigas sobre la cual se apoyan los aisladores sísmicos. A su vez, sobre estos descansa la superestructura y genera una junta de aislamiento de 0.30 m. Su condición aislada propone una configuración atípica sobre la que deben desplegarse las distintas instalaciones en recorridos horizontales hacia sus respectivas montantes para ser distribuidas verticalmente hacia pisos superiores.



Ilustración 31. Niveles de aislamiento de la edificación. Fuente: Propia.

Como parte del caso de estudio, se abordará el despliegue de las partidas involucradas en el sótano 1.

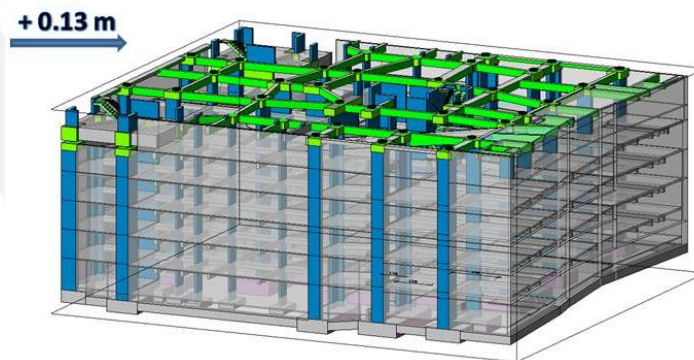


Ilustración 32. Nivel de aislamiento +0.13 m. Fuente: Propia.

II. Instalaciones Eléctricas

Las instalaciones eléctricas están conformadas por dos circuitos principales: instalaciones eléctricas de servicios generales e instalaciones eléctricas para departamentos. Estos a su vez están compuestos por distintos circuitos, los que se mencionan a continuación.

- Circuito de servicios generales, conformado por:
 - Iluminación de pasillos
 - Iluminación de sótanos
 - Iluminación de escalera

- Tomacorrientes
- Circuito de fuerza (bombas agua y desagüe)
- Circuito de instalaciones eléctricas para departamentos
 - Iluminación
 - Tomacorriente
 - Secadora

Los circuitos alimentadores poseen recorridos horizontales en el sótano 1 a través de las bandejas eléctricas (0.60m x 0.15m de sección) resaltadas en amarillo en el modelo mostrado. Estos recorridos finalizan en los ductos verticales eléctricos y de comunicación mostrados, por donde serán distribuidos a los pisos superiores. Es importante acotar, que el circuito de servicios generales también fue distribuido en los sótanos inferiores.

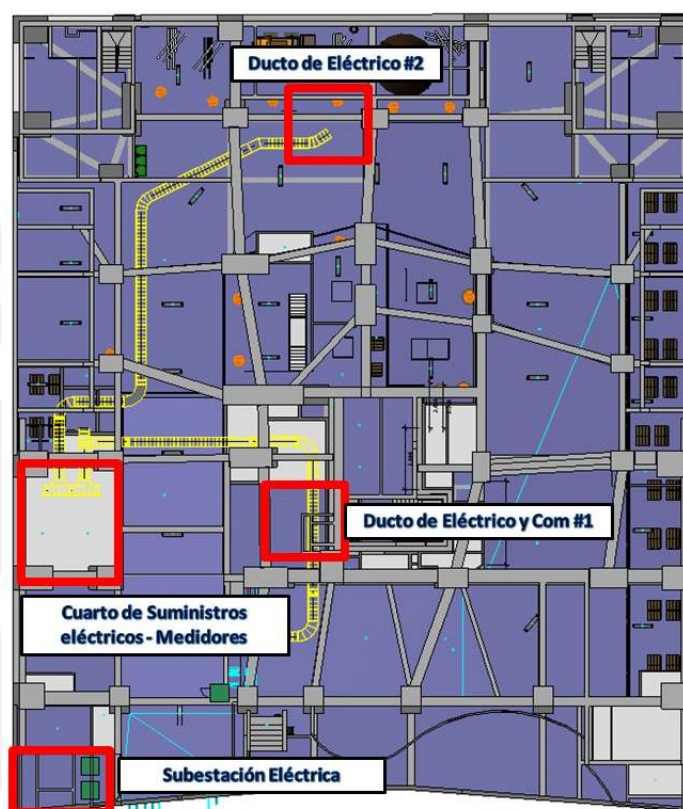


Ilustración 33. Sistema eléctrico en sótano 1. Fuente: Propia.

III. Sistema de Comunicaciones

El alcance de estos trabajos llegó hasta la canalización por parte de la empresa contratista. El cableado y puesta en marcha fue adjudicado a una empresa subcontratista. La canalización fue derivada, a través del techo del sótano 1 a los ductos de comunicaciones #1 y #2. Fue de especial atención la colocación correcta de las cajas de pase y el recorrido de la canalización hacia estos ductos, como se explicará en líneas posteriores. Los circuitos que componen este sistema son:

- Teléfono
- Intercomunicadores
- CCTV
- Sistema contra incendio

La canalización de los circuitos de comunicaciones se muestra en color celeste. Su recorrido principal se extiende desde los medidores respectivos hacia los ductos de comunicaciones #1 y el #2.

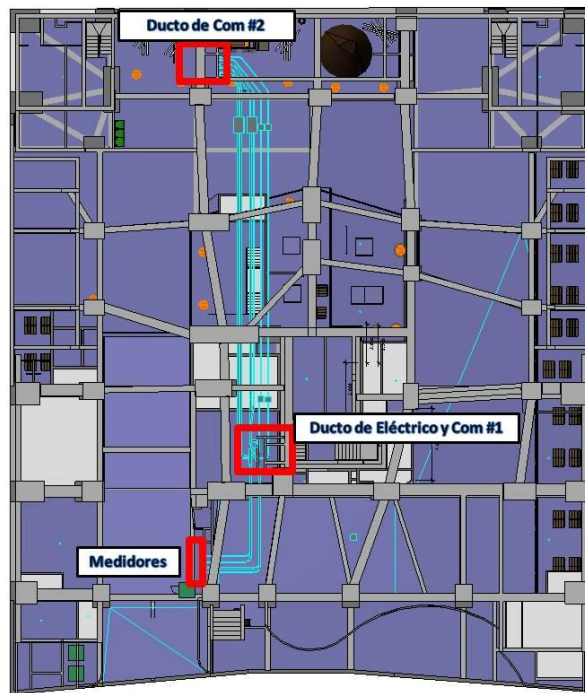


Ilustración 34. Sistema de comunicaciones en sótano 1. Fuente: Propia.

IV. Instalaciones Sanitarias

La partida de instalaciones sanitarias ha sido ejecutada por parte de la empresa contratista general a suministro e instalación. Las actividades que la conforman son variadas de acuerdo al frente al que pertenecen. En el sótano 1, puede resumirse a las siguientes:

- Instalación de tuberías de PVC colgadas de desagüe (red principal)
- Montaje e instalación de reductora de presión
- Instalación de tuberías de PVC para red de agua fría colgante
- Instalación de tuberías colgantes de PVC para sumideros de primer piso
- Instalación de soportes tipo gota en losa

Las instalaciones sanitarias de desagüe (red principal) están conformadas por tuberías de diámetros de 6", 4" y 3"; las de sumideros son de 3" y 2", estas hacen el recorrido hasta la bomba sumidero del sótano 6, por lo que son consideradas en actividades diferentes; y las instalaciones de agua fría poseen un diámetro de 2". Además, en este nivel se aprecia el inicio de las montantes sanitarias. En total son 26 montantes de desagüe que se ensamblan a la red de desagüe distribuida en dos ramales colgados en el techo del sótano 1, la que desemboca en la conexión domiciliaria de la concesionaria del servicio de agua de la zona.

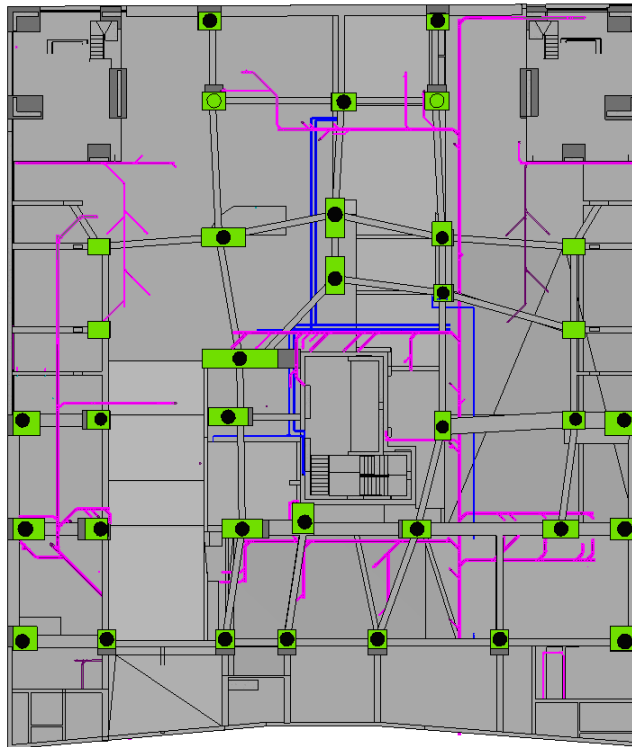


Ilustración 35. Sistema de agua fría y desagüe. Fuente: Propia.

V. Instalaciones de Agua Contra Incendio

El sistema de agua contra incendio está conformado por una bomba electromecánica y una bomba jockey, ubicadas en el cuarto de bombas en el sótano 6; la red de tuberías de acero y rociadores distribuidos en toda la edificación. Su recorrido empieza desde el sótano 6. En los sótanos se despliegan las conexiones de los rociadores distribuidos en toda su área.

En el sótano 1, el nivel en estudio, se presenta el ramal principal del cual se bifurcan los ramales finales. Al igual que en la especialidad de instalaciones, la conexión de las tuberías es realizada desde andamios. Su instalación se llevó a cabo bajo una estrecha coordinación con la especialidad de sanitarias debido a que el desarrollo de la pendiente no debía ser perjudicada.

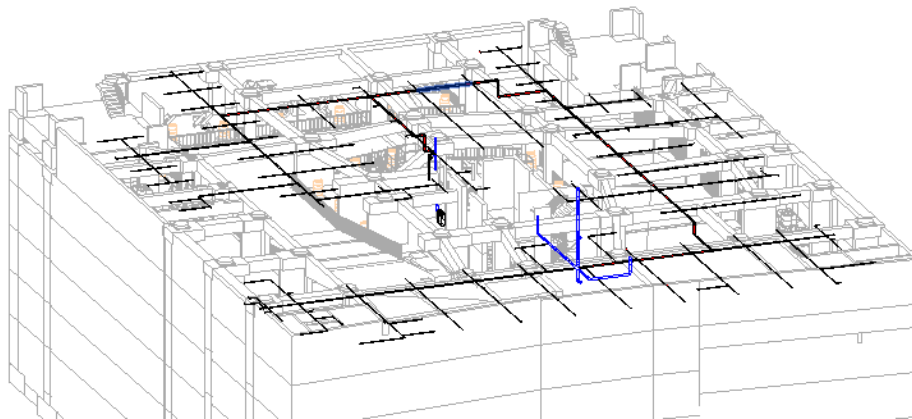


Ilustración 36. Sistema de agua contra incendios en sótano 1. Fuente: Propia.

VI. Instalaciones Mecánicas

El proyecto mecánico está conformado por:

- Sistema de extracción de monóxido
- Sistema de inyección de aire
- Sistema de expulsión de monóxido
- Sistema de circulación de aire
- Extracción de aire en baño de servicio de sótano 1
- Sistema de aire acondicionado en el cuarto de basura

Los sistemas de extracción de monóxido, expulsión de monóxido e inyección de aire están conformados por equipos mecánicos que generan la circulación de los diferentes tipos de gases presentes en el ambiente a través de ductos generados mediante la partida de albañilería. Según el proyecto de esta especialidad, estos ductos deben ser continuos en toda su altura (desde el sótano 6 al piso 18).

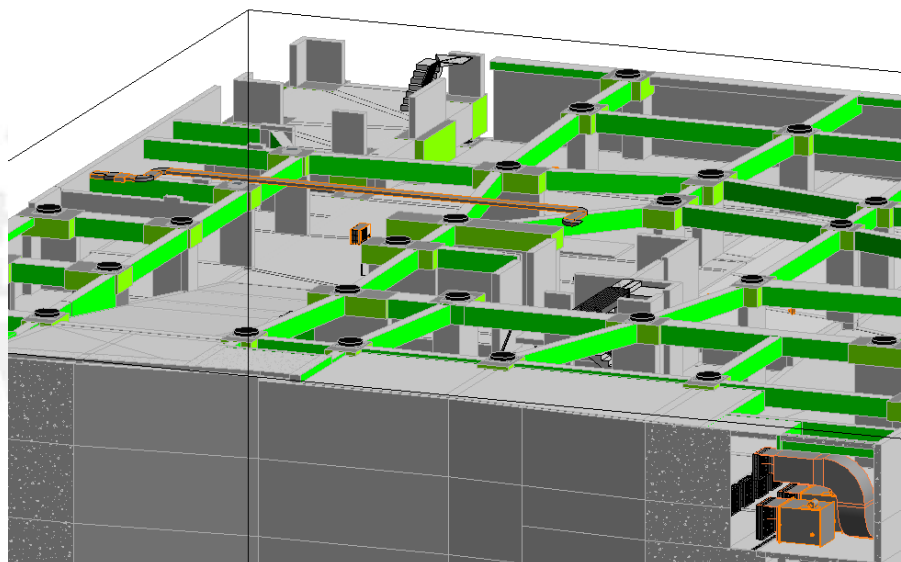


Ilustración 37. Sistema de extracción mecánica y ventilación forzada de aire en sótano 1. Fuente: Propia.

4.1.2. ALCANCE EN EL USO DE LAS HERRAMIENTAS

En la ejecución de este proyecto fueron usadas dos herramientas importantes en el **LookAhead Planning** y la **Planificación Semanal**: Last Planner System (LPS) y Building Information Modelling (BIM). LPS y BIM fueron implementadas desde la etapa de casco estructural. Cada una de ellas posee un impacto diferente de acuerdo a la etapa en ejecución del proyecto en la que se emplearon. El alcance de esta investigación comprende su desarrollo en las etapas de **Acabados y Equipamiento**.

I. Last Planner System (LPS)

LPS fue empleado para realizar la planificación y control de la programación en los tres horizontes de planificación: lejano, medio e inmediato. El horizonte lejano fue controlado

por medio de un cronograma de las partidas con mayor incidencia. La planificación intermedia fue llevada a cabo por medio de la herramienta “LookAhead Planning”. Sobre las partidas involucradas en este espectro de tiempo se realizaba un análisis de restricciones y posteriormente eran asignadas a responsables para su liberación. La planificación a corto plazo era realizada a partir de las actividades planificadas en el Lookahead para la semana siguiente a la fecha de análisis. En la programación semanal ingresaban solo actividades libres de restricciones.

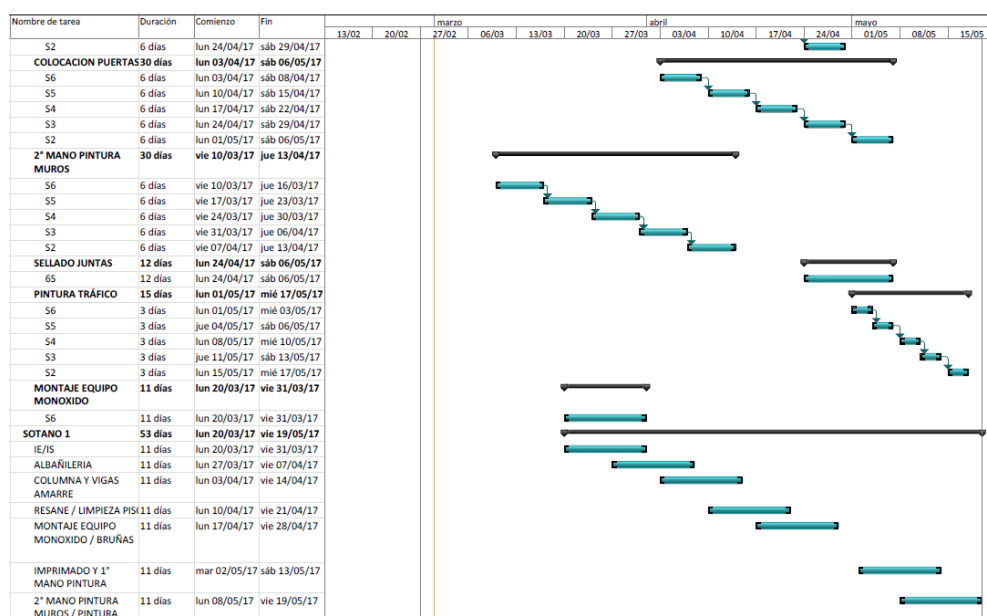


Ilustración 38. Plan Maestro al final de obra. Fuente: Propia.

Por otro lado, LPS también fue empleado para el control de la programación. En este aspecto se usaron las herramientas de Porcentaje del Plan Completado (PPC) y el análisis de causas de no cumplimiento de la programación. Adicionalmente, se llevaba un registro histórico del cumplimiento de la programación y los tipos de causas de no cumplimiento.

II. Building Information Modeling (BIM)

La herramienta BIM estuvo presente en el proyecto mediante el modelo de la edificación, la cual se realizó a partir de los planos vigentes al momento de iniciar el modelamiento. El modelo se gestó en la etapa de excavación con la finalidad de resolver las incompatibilidades mediante sesiones ICE. En ellas, se resolvieron las siguientes incompatibilidades:

- Posiciones de los pases en las vigas para las tuberías de agua contra incendio en sótanos.
- Corrección de peraltes en vigas que comprometían altura libre normada.
- Corrección de peraltes en vigas de zona de aislamiento +0.13 m que comprometían la altura máxima de la edificación.
- Metrados de puertas, ventanas, luminarias, entre otros elementos repetitivos.

Posterior a este primer uso, el modelo fue utilizado para dar seguimiento a la fase de construcción de la estructura de la edificación. Se empleó en las reuniones de coordinación de producción diarias en conjunto con los capataces como herramienta visual. Sin embargo, no tuvo la vigencia esperada (hasta el término de esta etapa) en estas reuniones.

Con la finalidad de evaluar el desempeño de BIM bajo el entorno donde pueden obtenerse la mayoría de sus beneficios, se optó por escoger la etapa de **acabados y equipamiento**. En esta etapa se desarrollan los sistemas más complejos del proyecto. Tanto los sistemas de redes de agua (agua fría, desagüe Y ACI), como los sistemas eléctricos y mecánicos, suelen poseer un despliegue geométrico complejo al ser ejecutados en campo. La coordinación entre los involucrados de estas especialidades debe ser de alta confiabilidad, para lograr un cumplimiento aceptable de lo programado. De esta manera, se decidió emplear los modelos BIM como medio de coordinación en el entorno LPS.

4.1.3. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

El equipo del proyecto se conformó según el siguiente organigrama.

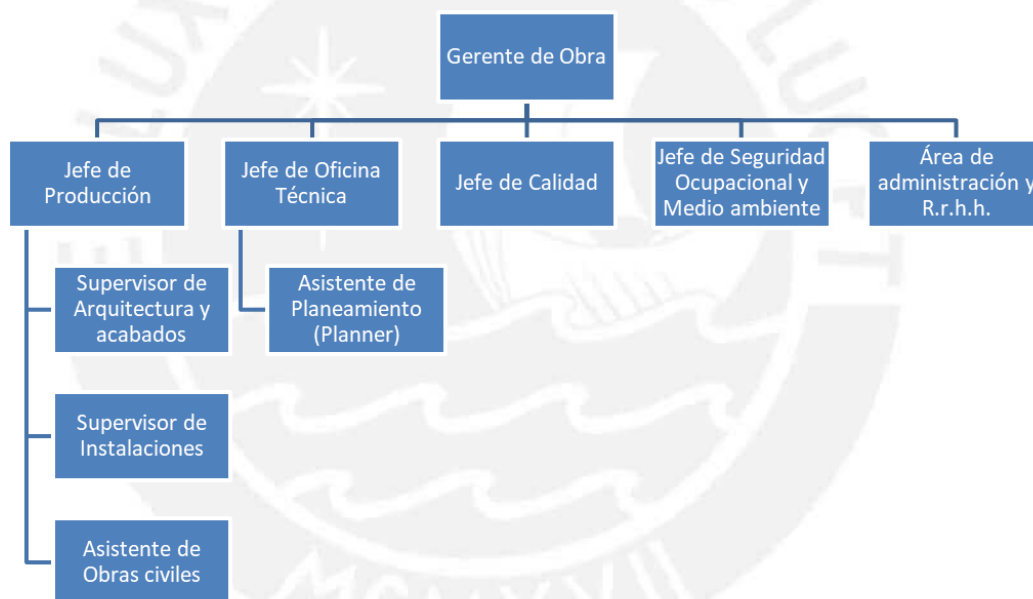


Ilustración 39. Organigrama del proyecto "Edificio Multifamiliar Madre". Fuente: Proyecto Multifamiliar Madre.

El área producción es la responsable de la gestión de los recursos materiales y mano de obra de forma eficiente con la finalidad de cumplir el cronograma pactado en el plazo y costo previsto. En campo, cada responsable perteneciente a esta jefatura posee a su cargo capataces quienes coordinan directamente con los operarios, oficiales y peones. De acuerdo a sus especialidades, los profesionales de producción están distribuidos en los siguientes frentes: pisos superiores (departamentos) ejecutado por el supervisor de arquitectura; áreas comunes, sótanos y piso 1 (ingreso) por asistente de obras civiles; e instalaciones por el supervisor de

instalaciones. En este caso de estudio, se hará referencia al frente de sótanos, específicamente al sótano 1.



Ilustración 40. Distribución de frentes de trabajo. Fuente: Propia.

4.1.4. INTEGRACIÓN DE BIM Y LPS

I. LOOKAHEAD

El horizonte medio de planificación es analizado mediante el Lookahead Planning. En esta etapa se registra el nivel de avance actual a la fecha y se evalúa en el cronograma las actividades a ejecutar las semanas posteriores. Estas actividades son divididas en operaciones. Al descomponer en subprocesos, es más sencillo identificar procesos que no agregan valor. A partir de esto, se facilita el seguimiento y se reduce la variabilidad (Guzmán, 2014). Paso seguido, se propone realizar la actualización del modelo del frente estudiado al estatus actual, teniendo en cuenta el LOD adecuado de acuerdo a los sistemas a ejecutar, la información técnica de los sistemas y las condiciones en campo.

El **lookahead**, propuesto por el jefe de frente y el especialista de instalaciones (previo a cada reunión), y el **modelo resultante**, serán empleados como herramientas de coordinación entre las especialidades involucradas dentro del frente de estudio. Los participantes de esta reunión semanal de coordinación serán:

- Responsables de subcontratos
- Jefes de frente
- Capataces
- Planner



Ilustración 41 Reunión de coordinación LPS - BIM. Fuente: Propia.

En esta reunión, como se aprecia en el marco desarrollado, se llevará a cabo:

- Recorrido virtual colaborativo
- Identificación de restricciones de acuerdo a las fechas próximas de entrega
- Planteamiento de sectorización por sistemas
- Avance estimado al nivel de operaciones
- Organización del proceso de instalación por sistemas al nivel de operaciones (con cada instalador)



Ilustración 42 Recorrido virtual colaborativo en la primera reunión de coordinación. Fuente: Propia.

Como resultado de esta reunión se obtiene observaciones que aportaran confianza en la elaboración del Lookahead final y el análisis de restricciones. El primero, se presenta como el cronograma de actividades a ejecutar las siguientes cuatro semanas. Adicionalmente, se muestra con actividades que poseen restricciones identificadas y serán liberadas en las siguientes semanas. Cabe agregar, que estas actividades serán programadas a nivel de operaciones y teniendo en cuenta su ubicación de acuerdo a los sectores inicialmente planteados. Estos fueron útiles únicamente para la ejecución de obras civiles e instalación o modificación de obras provisionales, únicamente.

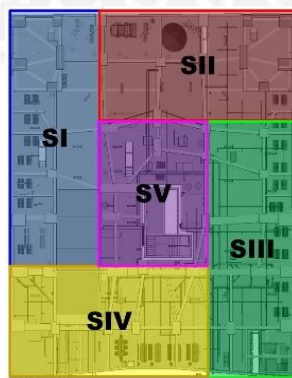


Ilustración 43 Sectorización inicial del sótano 1. Fuente: Propia.

Descripción	Ud	MAYO																													
		SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3							SEMANA 4								
		L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D		
ISS																															
TUBERIAS COLGADAS																															
Tuberías colgadas de agua	m																														
Tuberías colgadas de escape	m																														
Instalación de reductor de presión	und																														
Instalación de montante de desague	m																														
Conexión de sifones de piso 1 con red en sótano 1	und																														
PUESTA EN MARCHA																															
Arranque de bombas	qb																														
ACOMETIDA DE SEDAPAL																															
Trabajos de habilitación	qb																														
IEE																															
CANALIZADO DE COMUNICACIONES																															
Canalización de circuitos de comunicaciones - SII	m																														
Colocación de cajas de paso - SIV	und																														
CABLEADO DE MONTANTES																															
Cableado de montantes #1 - SIV	m																														
Cableado de montantes #2 - SII	m																														
CABLEADO DE COMUNICACIONES																															
CANALIZADO DE ACOMETIDA CONSECIONARIO																															
Colocación de cajas de paso - SII	und																														
Canalización de red - SIV	m																														
EQUIPAMIENTO DE CUARTO DE SUM ELECTRICOS																															
ACI																															
TUBERIAS																															
Habilitación de tuberías sótano 1	m																														
Instalación de tuberías sótano 1 - Sectores perimetrales	m																														
PRUEBAS HIDRAULICAS																															
Sótano 1	qb																														
SOPORTES FVN DE RAMAL																															
Sótano 4 - Sectores perimetrales	qb																														
Sótano 3 - Sectores perimetrales	qb																														
Sótano 2 - Sectores perimetrales	qb																														
Sótano 1 - Sectores perimetrales	qb																														
RESATE DE PINTURA																															
Sótano 4 - Sectores perimetrales	qb																														
Sótano 3 - Sectores perimetrales	qb																														
Sótano 2 - Sectores perimetrales	qb																														
Sótano 1 - Sectores perimetrales	qb																														
PUESTA EN MARCHA C. BOMBAS																															
Prueba de bombas	qb																														
IMM																															
INSTALACION DE JETFAN																															
INSTALACION DE EQUIPOS DE INYECCION DE AIRE	und																														
COLOCACION DE DUMPERZ ZONA DE INYECCION																															
DUCTO DE EXPULSION DE MONOXIDO	und																														
ARQ																															
ALBAÑILERIA																															

Ilustración 44 Lookahead inicial de 4 semanas del frente de sótanos, específicamente del sótano 1. Fuente: Propia.

a. Desarrollo de las operaciones

A continuación, se detallan las operaciones que conforman las principales actividades dentro de las especialidades estudiadas para el caso de estudio. Es importante realizar el análisis por operaciones, pues de esta manera es posible determinar las actividades repetitivas e identificar mediante ellas las restricciones que generan un no cumplimiento de la programación.

Instalaciones mecánicas

Tabla 28. Operaciones que conforman las instalaciones mecánicas. Fuente: Propia.

ACTIVIDADES	OPERACIONES
Instalación de Jetfan	Inspección del área de trabajo
	Armado de andamios
	Ubicación y replanteo de ubicaciones
	Instalación de bastidor
	Izaje y montaje de Jetfan
Montaje de equipos de inyección de aire	Culminación de obras civiles
	Inspección del área de trabajo
	Montaje de equipos sobre bases especiales
	Fijamiento de equipos sobre zonas planteadas
	Elaboración de ductos de hierro galvanizado
	Montaje de ductos de hierro despues del almuerzo
Ducto de expulsión de monxoido	Culminación de asentado de albañilería
	Generación del vano solicitado
	Ejecución del derrame del vano
	Empaste del derrame en vano
	Instalaciones de fuerza para equipos
	Montaje de equipos

Instalaciones de agua contra incendios

Tabla 29. Operaciones que conforman las instalaciones de ACI. Fuente: Propia.

ACTIVIDADES	OPERACIONES
Instalación de sistema ACI	Habilitación de tuberías
	Inspección del área de trabajo
	Armado de andamios
	Instalación de soporte de ramal
	Pre armado de tubería en suelo
	Montaje de tuberías en colgadores
	Pintura de tubería
	Montaje de sujetador al final de ramal

Instalaciones Sanitarias

Tabla 30. Operaciones que conforman las instalaciones sanitarias. Fuente: Propia.

ACTIVIDADES	OPERACIONES
Instalación de tuberías colgadas de agua	Habilitación de área de trabajo
	Armado de andamios
	Anclaje de colgadores tipo gota
	Instalación de tuberías longitudinales
	Instalación de accesorios
Tuberías colgadas de desagüe	Habilitación de área de trabajo
	Armado de andamios
	Anclaje de colgadores tipo gota
	Instalación de tuberías longitudinales
	Instalación de accesorios
Instalación de reductor de presión	Habilitación de área de trabajo
	Cierre de válvula alimentadora de red
	Desmontaje de tuberías seleccionadas
	Izaje y montaje de reductor
	Conexión a la red de agua fría
	Calibración de dispositivo
Instalación de montantes de desagüe	Habilitación de área de trabajo
	Armado de andamios
	Anclaje de colgadores tipo gota
	Acoplamiento de tuberías longitudinales
Instalación de montantes de lavamopas	Obras civiles para la construcción de jardineras
	Anclajes de soportes
	Montaje de tuberías de 2"

Instalaciones de IIEE

Tabla 31. Operaciones que conforman las instalaciones eléctricas. Fuente: Propia

ACTIVIDADES	OPERACIONES
Canalización de circuitos de comunicaciones	Inspección y acondicionamiento de área de trabajo
	Armado de andamios
	Instalación de colgadores
	Montaje de accesorios o quiebres
	Montaje de bandejas o ductos longitudinales
Montaje de cajas de pase	Inspección y acondicionamiento de área de trabajo
	Armado de andamios
	Instalación de colgadores
	Habilitación de caja de pase
Cableado de montantes	Inspección del area de trabajo
	Armado de plataforma elevada
	Cuantificación de recursos materiales
	Preparación de cables a emplear
	Distribución de cable por ducto vertical
Colocación de luminarias	Inspección de área de trabajo
	Armado de andamios
	Ubicación de punto de fuerza
	Andaje de soportes de luminaria
Canalización de acometida de concesionario	Montaje de luminaria
	Inspección del área de trabajo
	Visualización de entorno ante posibles interferencias
	Armado de andamios
	Montaje de cajas de pase
	Instalación de colgadores
	Montaje de ductos longitudinales
	Trazo y replanteo de proyecto de sum. Electricos
	Construcción de nichos para medidores
	Verificación de cumplimiento de especificaciones
Cableado de sistema	
Instalacion de medidores	

b. Nivel de desarrollo (LOD)

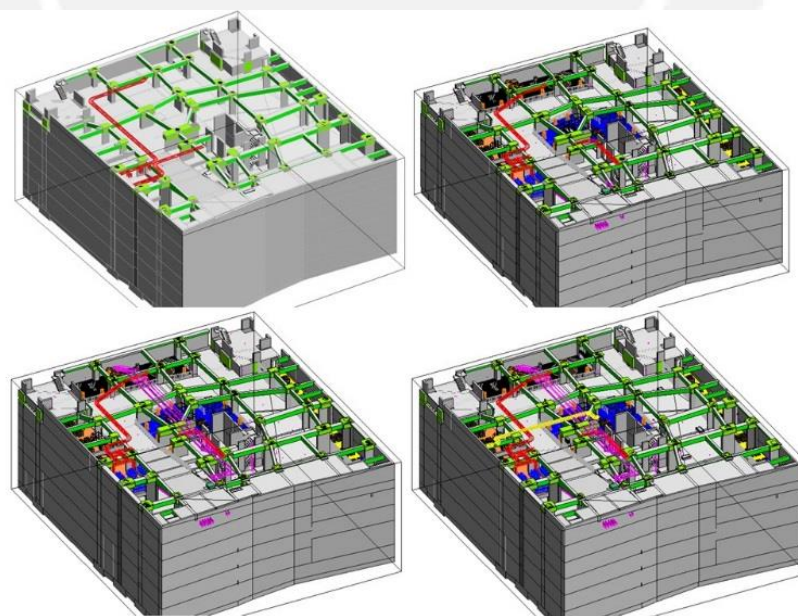


Ilustración 45. Implementación y actualización de LOD en los sistemas involucrados. Fuente: Propia.

En la etapa de acabados y equipamiento, se propone el uso de un LOD de 250, 300, 350 y 400. Se pretende llegar al nivel de ejecución de operaciones, lo que implica tener la

fabricación, ensamblaje e instalación de ciertos elementos de los sistemas MEP. A continuación, se muestra el LOD implementado en el modelado de cada sistema.



Ilustración 46 Visualización del modelo en campo. Fuente: Propia.

Tabla 32. Descripción del nivel de desarrollo (LOD) correspondiente a cada sistema involucrado en el proyecto. Fuente: Propia.

SISTEMA	LOD	MODELAMIENTO
Obras provisionales	250	Ubicación, dimensiones, forma, orientación y cantidad.
Obras civiles	300	Localización, materiales, dimensiones, forma, orientación y cantidad
Sistema de agua contra incendios	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, diámetros, longitudes, localización, orientación y materiales.
Sistema de extracción de mecánica	400	Localización, orientación, materiales, dimensiones y radio de giro de ductos, y elementos de sujeción.
Sistema de ventilación forzada	250	Localización, orientación y dimensiones de equipos.
Redes de agua	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, diámetro, longitud, localización, orientación y materiales.
Redes de desagüe	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, diámetros, longitudes, pendientes, localización, orientación y materiales.
Sistema eléctrico	350	Tuberías, bandejas, medidores, tableros, accesorios, elementos de sujeción, cajas de pase, dimensiones, localización, orientación y materiales.
Sistema de comunicaciones Teléfono CCTV Sistema contra incendios Intercomunicadores	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, cajas de pase, dimensiones, localización, orientación, materiales y nombre de subsistema.

Un adecuado LOD garantiza obtener del modelo la información necesaria para la identificación de restricciones y su liberación. Este, en conjunto con la actualización permanente del modelo, permite elevar la confiabilidad de la planificación intermedia e inmediata. El LOD debe adecuarse según la información que se necesite obtener de la especialidad correspondiente.

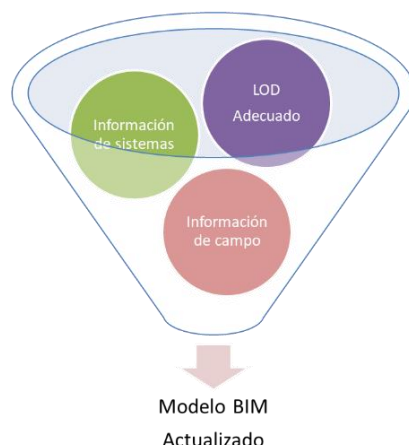


Ilustración 47 Elementos que generan una actualización correcta de un modelo BIM. Fuente: Propia.

c. Análisis de Restricciones

En tercer lugar, se genera el análisis de restricciones. Las restricciones son identificadas, tanto en campo como del modelo. Posteriormente, serán levantadas por el especialista correspondiente. El seguimiento de su resolución estará a cargo del Planner del proyecto. Al igual que el cronograma, se presenta su ubicación en planta de acuerdo a la sectorización inicialmente propuesta y la fecha en la que fue identificada.

Tabla 33. Análisis de restricciones derivado de la primera reunión. Fuente: Propia.

#	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	FECHA	MEDIO	TIPO	JUSTIFICACIÓN DEL MODELO
PRIMERA REUNIÓN						
1	Emplazamiento de almacén en área de trabajo de ACI y HSS.	SI III	02.05.2017	CAMPO	ESPACIAL	-
2	Interferencia entre desagüe y ACI en zona de almacén.	SI III	02.05.2017	MODELO BIM	ESPACIAL	Se aprecia que se debe respetar pendiente de desagüe.
3	Canalización de circuitos de teléfono, tv, intercomunicadores y cctv.	SV	02.05.2017	MODELO BIM	ESPACIAL	Alternativa de distribución de cajas de pase.
4	Doble altura para canalización de circuito de comunicaciones	SV	02.05.2017	CAMPO	ESPACIAL	-
5	Replanteo de llegada a acometida eléctrica por falta de altura según modelo inicial.	SI - Sótano 2	02.05.2017	MODELO BIM	ESPACIAL	Poca altura en la rampa del sótano 2.
6	Interferencia de acometida eléctrica, comedor y refuerzo para elevador	SIV	02.05.2017	CAMPO	ESPACIAL	-
7	Doble altura para la instalación de luminarias	Sótano 1	02.05.2017	MODELO BIM	ESPACIAL	Altura de luminarias colgantes desde el techo (doble altura).

II. PLANIFICACIÓN SEMANAL

El horizonte inmediato de planificación, también llamado planificación semanal, es llevado a cabo mediante el análisis de la primera semana del cronograma lookahead. Es de importancia recordar que mediante el horizonte medio de planificación se busca generar una reserva de actividades libres de restricciones (workable backlog). Lograr el nivel de descomposición requerido en esta fase de planificación, comprende el desglose de las actividades de la semana inicial del lookahead, en operaciones.

Se llevaran a cabo los procesos necesarios para concluir en compromisos de ejecución las actividades programadas por parte de los involucrados en el frente en estudio. Esta etapa comienza en dos estados preliminares.

1. En el primer caso, se presentan restricciones no contempladas o pendientes de liberación en la semana. En caso de ser resueltas, la actividad empezará a formar parte de la reserva de actividades libres de restricciones.

2. En el segundo caso, se presentan las actividades libres de restricciones, desde la etapa previa, y que podrán ser programadas para su ejecución en la semana en estudio.

a. Entregables en la planificación semanal

Finalmente, se programaran las actividades libres de restricciones de manera coherente según lo planificado en el horizonte medio y en el cronograma maestro. En la elaboración del plan semanal participan todos los responsables en conjunto, generando de esta manera una planificación abalada bajo el compromiso de ser cumplida. Asimismo, los modelos desarrollados bajo la colaboración de cada especialista serán presentados como el estado final de entrega de cada partida.

Tabla 34. Plan de trabajo semanal explotado en operaciones para un mayor control de actividades. Fuente: Propia.

Ítem	Descripción	SEMANA 1						
		L	M	M	J	V	S	D
		01	02	03	04	05	06	07
1.00	IISS							
1.1	TUBERIAS COLGADAS							
1.1.1	Armado de andamio		X					
1.1.2	Instalación de soportes			X				
1.1.3	Tuberías colgadas de desagüe - SIII				X	X	X	
2.00	IIIEE							
2.1	CANALIZACIÓN							
2.1.1	Canalización de circuito de comunicaciones - SII		X	X	X	X	X	
2.2	CABLEADO DE MONTANTES							
2.2.1	Cableado de montante #1		X	X	X	X	X	
2.2.2	Cableado de montante #2		X	X	X	X	X	
3.00	ACI							
3.1.0	TUBERÍAS							
3.1.1.	Habilitación de tuberías sot 1		X	X	X			
3.1.2.	Instalación de soportes para tuberías - SIII				X	X	X	
3.1.3.	Instalación de tuberías sot 1 - SIII				X	X	X	

El entregable de esta sección es la propuesta colaborativa del plan de trabajo semanal. Su desglosamiento en operaciones es de suma importancia para la identificación de las restricciones que realmente detengan el flujo de trabajo de algún sistema. Cada paquete de trabajo será visualizado dentro en las **reuniones semanales de coordinación**, en presencia de los asistentes antes mencionados.



Ilustración 48 Reunión de coordinación. Fuente: Propia.

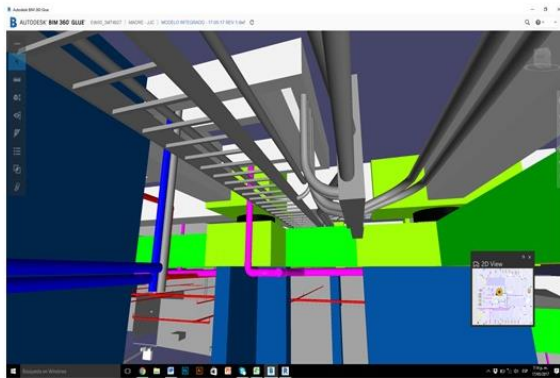


Ilustración 49 Estado virtual de entrega versus actividad programada entregada. Fuente: Propia.

4.1.5. HERRAMIENTAS BIM IMPLEMENTADAS EN LPS

Entre las principales restricciones a resolver, en la fase de acabados y equipamiento, se encuentran algunas que pueden ser resueltas mediante el modelo BIM. A continuación, se les describe:

I. Detección de incompatibilidades

La detección de incompatibilidades es inherente a la actualización del estatus del modelo según el avance en campo y lo pendiente por instalar descrito en los planos. En el proceso de actualización y pre-construcción de los planos al modelo BIM, es posible identificar las zonas con alto potencial de interferencia, debido a errores de diseño y falta de detalle en el alcance del proyecto. Estas, son resueltas colaborativamente. En la fotografía se observa la superposición de todos los sistemas involucrados en el sótano 1.

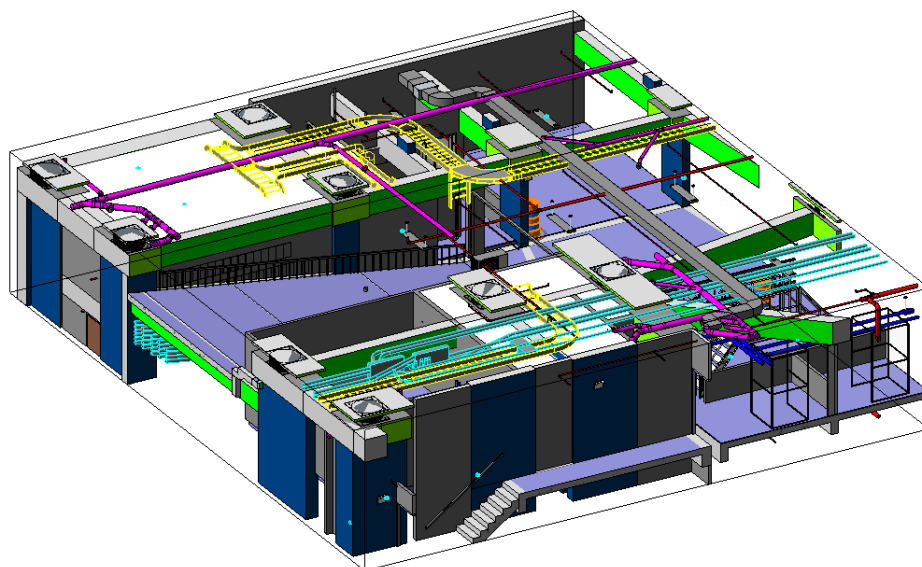


Ilustración 50 Modelo de especialidades actualizadas y cargadas paralelamente para la identificación de restricciones. Fuente: Propia.

II. Sectorización de sistemas

Resueltas las incompatibilidades, dándole prioridad a la zona donde comenzarán las instalaciones de los sistemas, se procede a sectorizarlos. La sectorización planteada por cada sistema se adapta a la entrega del sistema según su funcionamiento. En otras palabras, cada unidad funcional, puede ser considerada un sector o un paquete de trabajo. Los siguientes casos, que se explicarán más adelante, ilustran el tema:

a. **Instalación de tuberías de desagüe**

En el caso de las tuberías de desagüe se propone sectorizarlas mediante grupos de montantes o grupos de sumideros. De esta forma, el entregable agrupa elementos donde es requerida mayor cantidad de horas hombre. En estos casos, es conveniente el uso de este tipo de sectorización.

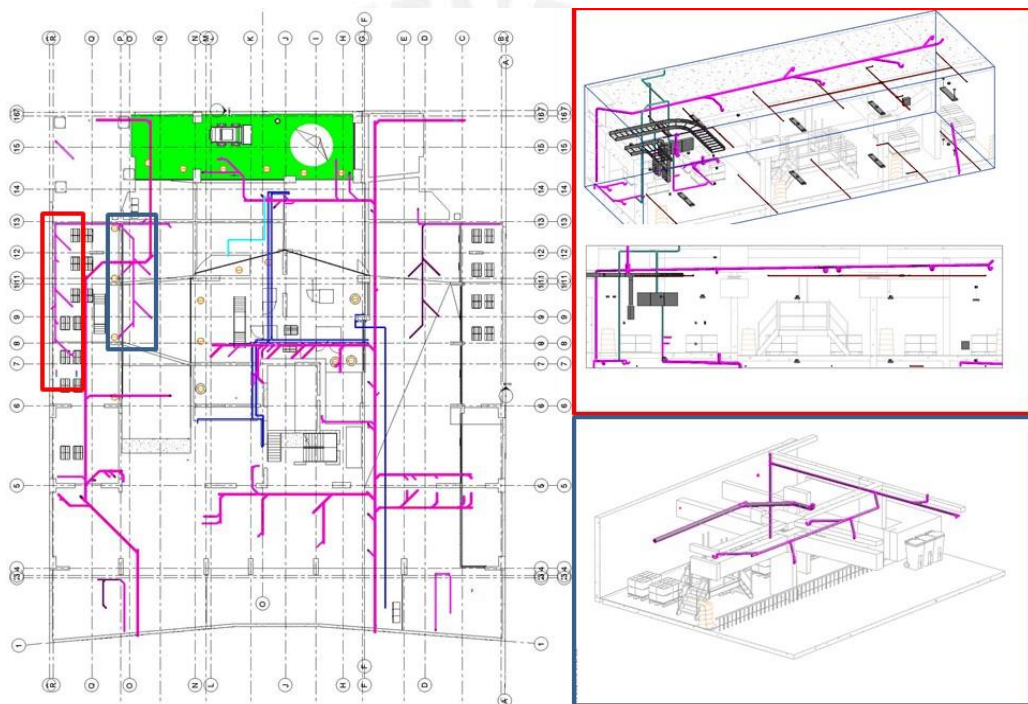


Ilustración 51 Sectorización de sistemas: Baterías de sumideros del piso 1, patio 2. Fuente: Propia.

b. **Instalación de sistemas mecánicos**

Los sistemas mecánicos en el proyecto estudiado, según se explicó previamente, fueron varios. Entre ellos se encuentran: sistema de circulación de aire en sótanos, ventilación mecánica en baños, presurización de escalera, entre otros. Sin embargo, el uso de la sectorización propuesta puede ser implementada para este tipo de sistemas, también.

En este caso de estudio, se propone sectorizar los elementos de la siguiente manera: Sistema de extracción de aire en baño de servicios, unidad jetfan instalada, equipos de inyección y extracción de monóxido en vestíbulo previo.

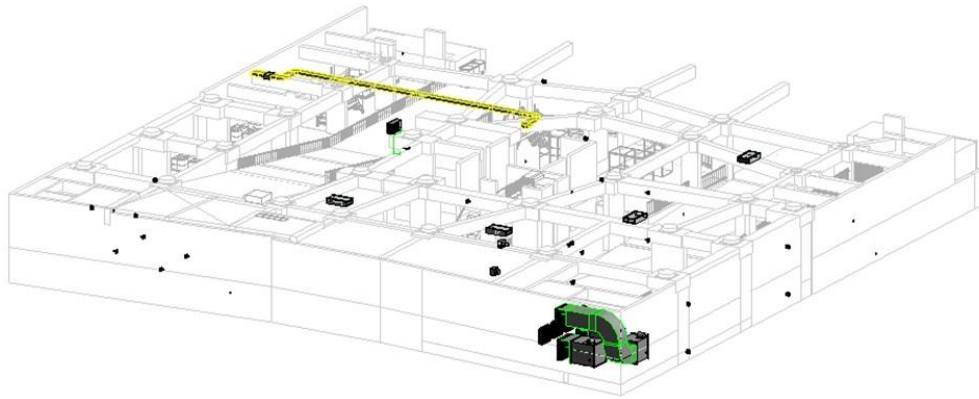


Ilustración 52 Sectorización de sistema mecánico. Fuente: Propia.

III. Análisis y diseño de las operaciones

El análisis y diseño de las operaciones se genera de la descomposición de las actividades en operaciones. Este proceso permite realizar el estudio sobre los elementos de las partidas MEP en paquetes de trabajo realizables y entregables dentro del espectro de tiempo del lookahead. Es importante en esta parte del proceso, la coordinación directa con ejecutores desde el lugar físico donde se llevará a cabo el trabajo. De esta manera el Planner deberá inspeccionar en campo el sector a ejecutar y coordinar con el instalador detalles relevantes para ser visualizados posteriormente en el modelo BIM, proceso que recibe el nombre de diseño de operaciones.

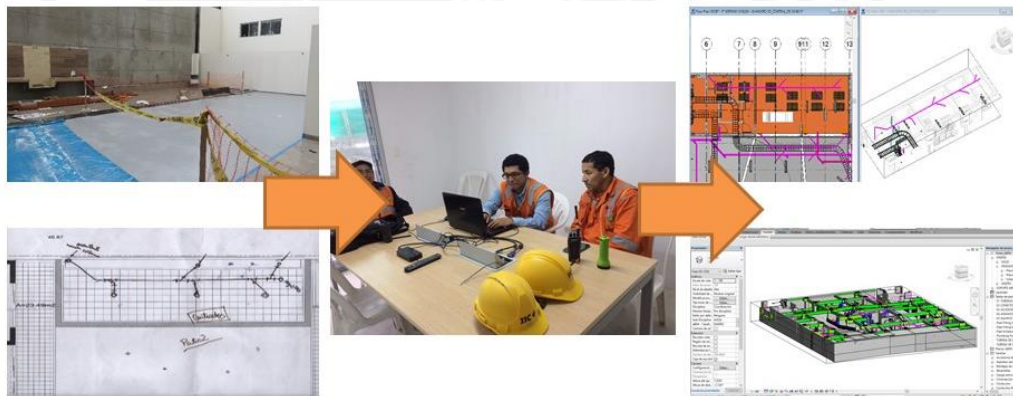
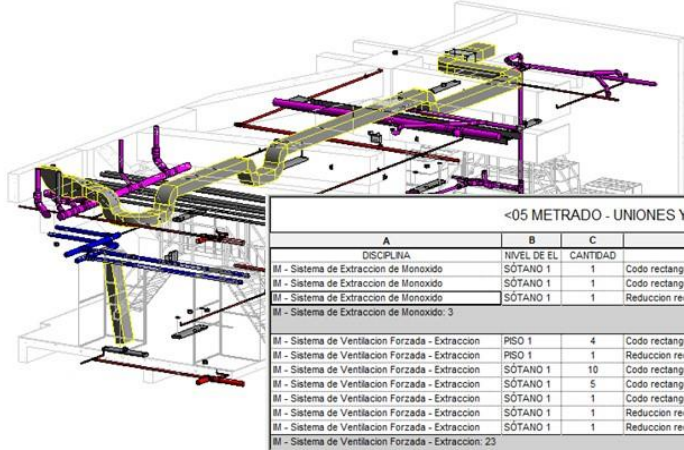


Ilustración 53 Proceso de diseño de operaciones. Fuente: Propia.

IV. Calculo de materiales

Diseñadas las operaciones y resueltas las interferencias, el modelo procede a ser la representación virtual del trabajo que se ha programado para su próxima entrega. Al poseer el nivel de desarrollo descrito con anterioridad, el despiece de los elementos puede ser obtenido del software por medio de las tablas de planificación. A continuación, se presenta el cálculo de materiales del sistema de extracción mecánica de aire del baño de servicio. De esta manera se impulsa la prefabricación y la disminución de desperdicios presentes de sobremanera en este tipo de partidas.



<05 METRADO - UNIONES Y TRANSICIONES DE DUCTOS>

A	B	C	D	E	F
DISCIPLINA	NIVEL DE EL	CANTIDAD	FAMILIA	TIPO	TAMANO
M - Sistema de Extraccion de Monoxido	SÓTANO 1	1	Codo rectangular	M - Fierro Galvanizado	36
M - Sistema de Extraccion de Monoxido	SÓTANO 1	1	Codo rectangular	M - Fierro Galvanizado	40
M - Sistema de Extraccion de Monoxido	SÓTANO 1	1	Reduccion rectangular	M - Fierro Galvanizado	36
M - Sistema de Extraccion de Monoxido: 3					
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	PISO 1	4	Codo rectangular	M - Fierro Galvanizado	
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	PISO 1	1	Reduccion rectangular	M - Fierro Galvanizado	
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	10	Codo rectangular	M - Fierro Galvanizado	10
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	5	Codo rectangular	M - Fierro Galvanizado	16
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	1	Codo rectangular	M - Fierro Galvanizado	
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	1	Reduccion rectangular	M - Fierro Galvanizado	1
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	1	Reduccion rectangular	M - Fierro Galvanizado	20 1/2
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion: 23					

<04 METRADO - DUCTOS>

A	B	C	D	E	F	G	H	I
DISCIPLINA	NIVEL	CANTIDAD	FAMILIA	SECCIÓN	ANCHO	ALTO	LONGITUD	AREA
M - Sistema de Extraccion de Monoxido	SÓTANO 1	3	Conducto rectangular	40"x36"	40"	36"	2.810 m	10.85 m ²
M - Sistema de Extraccion de Monoxido	SÓTANO 1	2	Conducto rectangular	48"x48"	48"	48"	1.640 m	8.00 m ²
M - Sistema de Extraccion de Monoxido: 5							4.450 m	18.84 m²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	PISO 1	5	Conducto rectangular	6"x6"	6"	6"	1.648 m	1.00 m ²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	PISO 1	1	Conducto rectangular	8"x6"	8"	6"	0.200 m	0.14 m ²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	1	Conducto rectangular	7"x19"	7"	19"	0.260 m	0.34 m ²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	9	Conducto rectangular	16"x10"	16"	10"	17.796 m	23.51 m ²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	1	Conducto rectangular	19"x7"	19"	7"	0.380 m	0.50 m ²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion	SÓTANO 1	1	Conducto rectangular	20"x10"	20"	10"	0.533 m	0.81 m ²
M - Sistema de Ventilacion Forzada - Extraccion: 18							20.817 m	28.31 m²

Ilustración 54 Sistema de extracción mecánico de aire y tablas de materiales. Fuente: Propia.

4.1.6. EJECUCIÓN Y CONTROL DE LA PROGRAMACIÓN

En esta etapa se lleva a cabo el control de la producción por medio del Planner en campo. A su vez, se realiza un registro fotográfico de las partidas ejecutadas y completadas. Este registro, se empleará para realizar la actualización del modelo BIM.

I. Porcentaje de plan completado

El análisis del PPC es elaborado evaluando los compromisos de la planificación semanal. Paralelamente, se lleva un registro semanal del cumplimiento de la programación con la finalidad de tomar acciones correctivas.

II. Causas de no cumplimiento de la programación

De la misma forma que el PPC, se debate las causas de no cumplimiento que impidieron que las tareas planificadas se ejecuten y evitar que puedan volver a presentarse en el futuro.

4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analizará los resultados obtenidos del caso de estudio, el cual tuvo 5 semanas de duración. Se presentarán los casos más representativos de las restricciones resueltas y los procesos seguidos para optimizar la implementación LPS mediante su sinergia con BIM en la etapa de LookAhead y Planificación Semanal. Además, se profundizará sobre las herramientas con las que puede aportar esta metodología al aumento de la confiabilidad en la planificación.

4.2.1. DESARROLLO LPS Y SUS RESULTADOS

Con la finalidad de obtener un flujo de trabajo libre de restricciones, se implementó la identificación de restricciones colaborativa, llevada a cabo en cada reunión de coordinación. Las restricciones identificadas semana por semana se muestran en la tabla 34. Además, se clasifican según su tipo.

I. Identificación colaborativa de restricciones

Tabla 35. Identificación de restricciones y tipo. Fuente: Propia.

RESTRICCIONES	
TIPO	DETALLE
SEMANA 1	
Interferencia en campo	Presencia de almacen de obra.
Interferencia en campo	Falta de cancha para la ejecución de partidas: iiss y aci.
Ubicación de elementos	Distribución de cajas de inspección de comunicaciones.
Requerimiento de equipos	Uso de andamios para instalación de cajas de inspección: comunicaciones.
Ubicación de elementos	Alternativa de acometida electrica por falta de altura libre.
Interferencia en campo	Presencia de comedor, apuntalamiento debido a elevador de materiales.
Requerimiento de equipos	Uso de andamios para instalación de luminarias.
SEMANA 2	
Interferencia en campo	Almacen de obra y encofrado.
Ubicación de elementos	Ubicación de reductor de presión para red de agua.
Requerimiento de equipos	Andamios para iiss.
Requerimiento de equipos	Andamios para canalizado iiee.
Ubicación de elementos	Corrección cajas de pase de comunicaciones.
Ubicación de elementos	Ducto de extracción en baño de servicio.
SEMANA 3	
Requerimiento de equipos	Andamios para la instalación de Jetfan.
Interferencia en campo	Comedor de obreros con partida ACI.
Interferencia en campo	Residuos solidos con partida ACI.
Incompatibilidad de diseño	Poca altura en cuarto de medidores para implementación a realizar.
Incompatibilidad de diseño	Ductos de inyección y extracción de monoxido en vestíbulo previo.
Actividad predecesora	Elaboración de base antivibratoria para equipos mecánicos.
SEMANA 4	
Procedimiento operativo	Montaje de equipos pesados en ducto de inyección.
Actividad predecesora	Trabajos civiles previos a instalación de equipos.
Incompatibilidad de diseño	Fabricación de bastidores para colocación de jetfan.
Requerimiento de equipos	Solicitud de andamios para instalaciones elevadas.
Aumento de trabajosidad	Labor con mayor dificultad que puede impactar en plazo acordado.
Incompatibilidad de diseño	Requerimiento de recorridos no previstos en ducto mecánico.
Interferencia en campo	Bruñado en rampa intefiere con cableado de comunicaciones.
Indefinición de diseño	Proyecto de cuarto de medidores por aprobar de parte de conecionario.
SEMANA 5	
Incompatibilidad de diseño	Ductos de inyección y extracción de monoxido en vestíbulo previo.
Incompatibilidad de diseño	Definición de transición en ducto de inyección de aire.
Incompatibilidad de diseño	Definición de transición en ducto de extracción de monoxido.
Incompatibilidad de diseño	Definición de recorrido en ducto de extracción de baño de servicio.

A partir de la clasificación realizada, fue posible determinar los tipos de restricciones con mayor incidencia dentro del periodo en el que se llevó a cabo el caso de estudio.

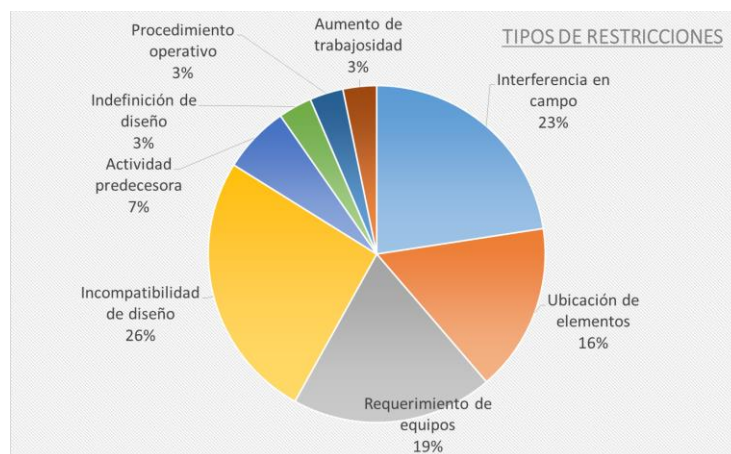


Ilustración 55 Porcentaje de restricciones según tipo. Fuente: Propia.

La naturaleza del frente analizado se ve reflejado en los resultados obtenidos. Entre los más resaltantes se obtuvo que, la incompatibilidad de diseño forma parte de un 26% del total de restricciones. Además, se puede observar que las interferencias en campo son parte de 23%, seguida de los requerimientos de equipos y ubicación de elementos a instalar con un 19% y 16%, respectivamente. El modelo permitió identificar potenciales restricciones del proyecto y condiciones desfavorables para la ejecución de ciertas actividades. La tendencia en este tipo de restricciones se debe al uso del modelo como interfaz visual para las reuniones. Asimismo, fue posible alcanzar restricciones específicas a un mayor nivel de detalle conforme los trabajadores se familiarizaban con la herramienta.

II. Trazabilidad del PPC

Se registró el cumplimiento de las actividades programadas dentro de la duración del caso de estudio sobre el sótano 1. Como se observa en la tabla 35, se presentó un crecimiento en el cumplimiento de compromisos respecto al inicio del caso de estudio, del 55.6% al 73.3%. Es posible adjudicar a este cumplimiento el seguimiento a las restricciones por parte del Planner y la identificación de restricciones con el efecto de realizar una programación más confiable. Sin embargo, la alta variabilidad del proyecto y las circunstancias que lo envolvieron repercutieron de manera directa dentro de los resultados.

Tabla 36. Porcentaje de actividades cumplidas semanal. Fuente: Propia.

	Completadas	No completadas	Total	PPC
Semana 1	5	4	9	55.6%
Semana 2	7	7	14	50.0%
Semana 3	14	7	21	66.7%
Semana 4	11	4	15	73.3%
Semana 5	22	8	30	73.3%

Cabe señalar, que la descomposición de las actividades en operaciones hizo posible asumir compromisos ejecutables dentro de cada semana.

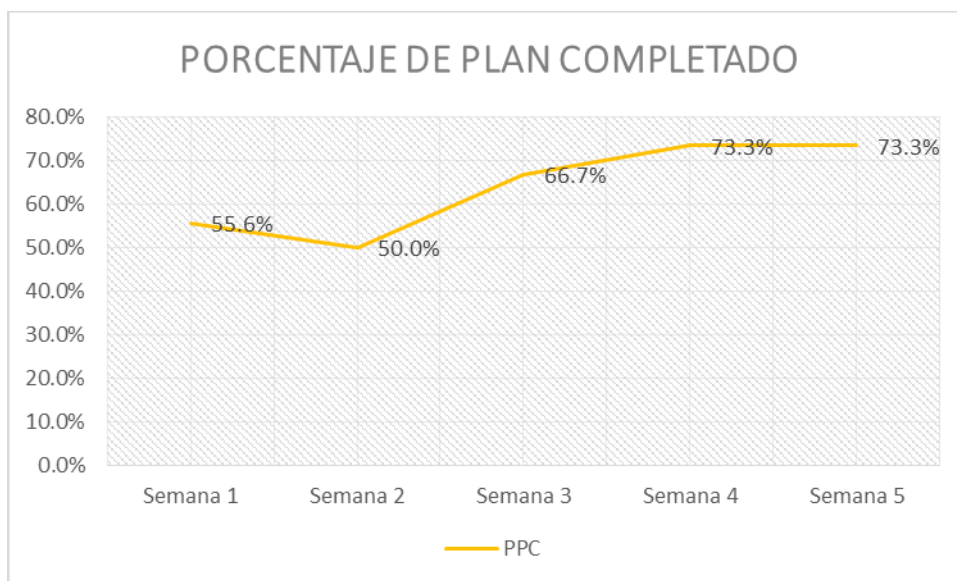


Ilustración 56 Trazabilidad del PPC. Fuente. Propia.

III. Análisis de causas de no cumplimiento

Como se mencionó previamente, diversas causas de no cumplimiento afectaron el desempeño productivo del proyecto. Entre ellas, las paralizaciones, entorno altamente conflictivo y restricciones de horario. Estas causas principales dieron como resultado cronogramas sin holguras por contingencia y disminución de la mano de obra debido a sobrecostos, lo que operativamente perjudicaba el cumplimiento de la programación propuesta debido a que el poco personal debía ser repartido en los distintos frentes. Cabe agregar, que el frente con mayor prioridad fue el de los departamentos. Los tipos de causas de no cumplimiento que afectaron directamente al sótano 1, fueron los siguientes:

Tabla 37. Identificación de causas de no cumplimiento de la programación. Fuente: Propia.

TIPOS DE CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO	FRECUENCIA	%
Error en planificación por rendimiento	11	36.7%
Interferencia en campo	5	16.7%
Indefinición de diseño	5	16.7%
Falta de materiales	3	10.0%
Falta de actividad predecesora	3	10.0%
Error en planificación - SC	2	6.7%
Decisión gerencial	1	3.3%
TOTAL	30	

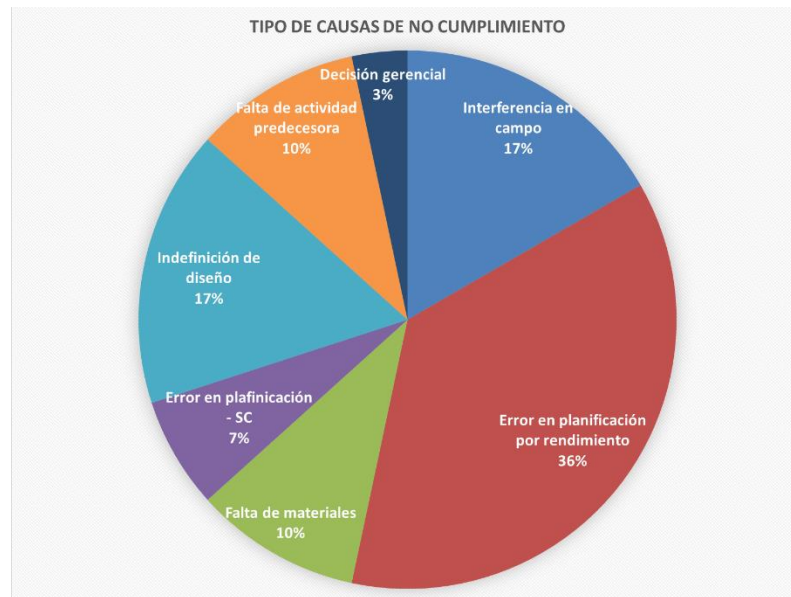


Ilustración 57 Porcentaje según tipos de causas de no cumplimiento de programación. Fuente: Propia.

Como se explicó anteriormente, la causa de no cumplimiento de mayor incidencia fue el error en la planificación por rendimiento. Esto se debe a que el personal destinado a cumplir las actividades programadas era enviado a otro frente a cubrir actividades con mayor prioridad. El incumplimiento fue de las partidas ejecutadas por el contratista general, a pesar de que el capataz responsable conocía la cantidad de trabajo que le correspondía ejecutar.

4.2.2. CASOS REPRESENTATIVOS

A continuación, se muestran las principales restricciones identificadas mediante coordinación colaborativa.

I. Instalación de tuberías de desagüe de 6"

A partir del análisis del modelo y un recorrido en campo, se definieron los trabajos que poseían restricciones y los libres a ejecutar. En la siguiente vista del modelo de la edificación, en la semana 1 del caso de estudio, se puede identificar que existirá un conflicto en la ejecución de la operación: montaje de tubería de desagüe de 6" en el sector III. La interferencia se presenta en el sector mencionado e involucra al sistema ACI. La alternativa inicial para resolver este conflicto fue darle prioridad a la instalación de desagüe debido a la pendiente que debe desarrollar. Y, como segunda alternativa, instalar las tuberías ACI por encima del desarrollo de las instalaciones sanitarias.

El nivel de modelado usado para obtener la visualización de este conflicto en campo fue de 350. De esta manera se logró localizar el sector donde se ejecutaría, orientación y materiales involucrados. Asimismo, el nivel usado permite visualizar las alternativas físicamente posibles dentro de la zona del conflicto para liberar de restricciones la operación analizada previa a su ejecución.



Ilustración 58 Interferencias entre sistema ACI y Red de desagüe en Sector SIII. Fuente: Propia.

Posterior a la resolución de las interferencias y restricciones la operación pasa a ser parte de las actividades libres de restricciones. De ser considerado por el jefe de frente, será añadido a la planificación semanal para ser ejecutada, como se muestra en la imagen posterior.

Ítem	Descripción	SEMANA 1						
		L 01	M 02	M 03	J 04	V 05	S 06	D 07
1.00	IISS							
1.1	TUBERÍAS COLGADAS							
1.1.1	Armado de andamio		X					
1.1.2	Instalación de soportes			X				
1.1.3	Tuberías colgadas de desagüe - SIII				X	X	X	
2.00	IIIE							
2.1	CANALIZACIÓN							
2.1.1	Canalización de circuito de comunicaciones - SII		X	X	X	X	X	
2.2	CABLEADO DE MONTANTES							
2.2.1	Cableado de montante #1		X	X	X	X	X	
2.2.2	Cableado de montante #2		X	X	X	X	X	
3.00	ACI							
3.1.0	TUBERÍAS							
3.1.1	Habilitación de tuberías sot 1		X	X	X			
3.1.2	Instalación de soportes para tuberías - SIII				X	X	X	
3.1.3	Instalación de tuberías sot 1 - SIII				X	X	X	

Ilustración 59 Programación semanal de la primera semana de estudio. Fuente: Propia.

II. Obras provisionales y distribución de elementos

Posteriormente al primer recorrido, se implementaron las obras provisionales dentro del modelo, con la finalidad de que este sea empleado como referencia. En él se aprecia el comedor y otras áreas ocupadas por materiales. El modelamiento de estos elementos fue realizado bajo un LOD de 250.



Ilustración 60 Almacén de obra. Fuente: Propia.

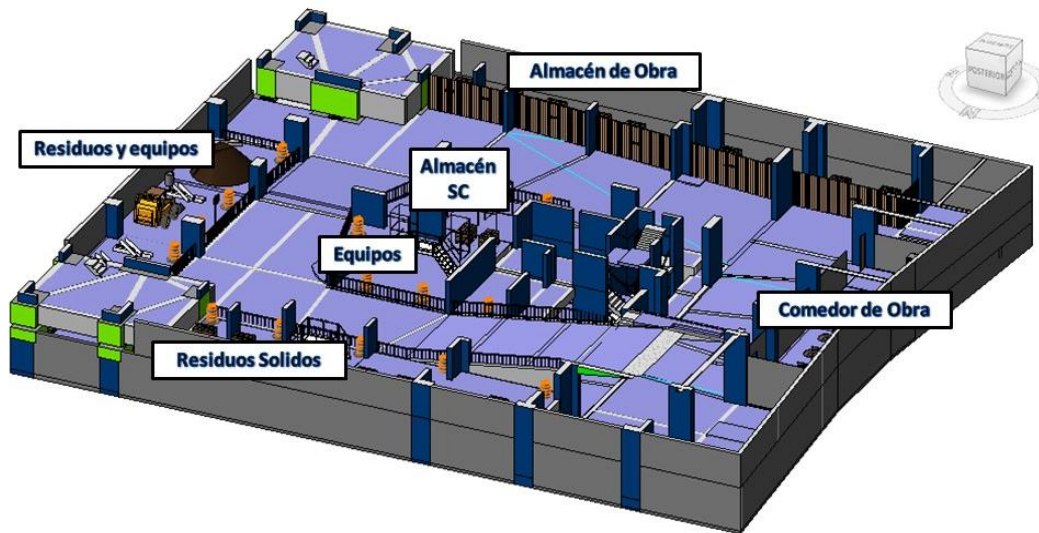


Ilustración 61 Representación de obras provisionales y distribución de elementos en planta del sótano 1. Fuente: Propia.

III. Instalaciones de comunicaciones

Se desarrolló en el modelo la canalización de las instalaciones de comunicaciones. Inicialmente, el modelo no presentaba el nivel de detalle necesario para ser usado como herramienta de coordinación entre especialidades. Por tal motivo, se procedió a realizar la actualización de los sistemas MEP de este nivel de la edificación. El resultado permitió tomar decisiones con mayor precisión en campo.

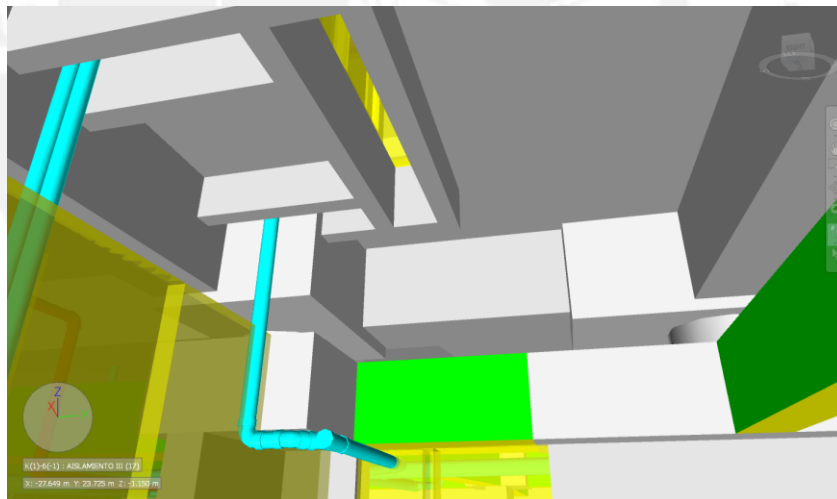


Ilustración 62 Modelo inicial, sin actualización al LOD necesario para la especialidad. Fuente: Propia.

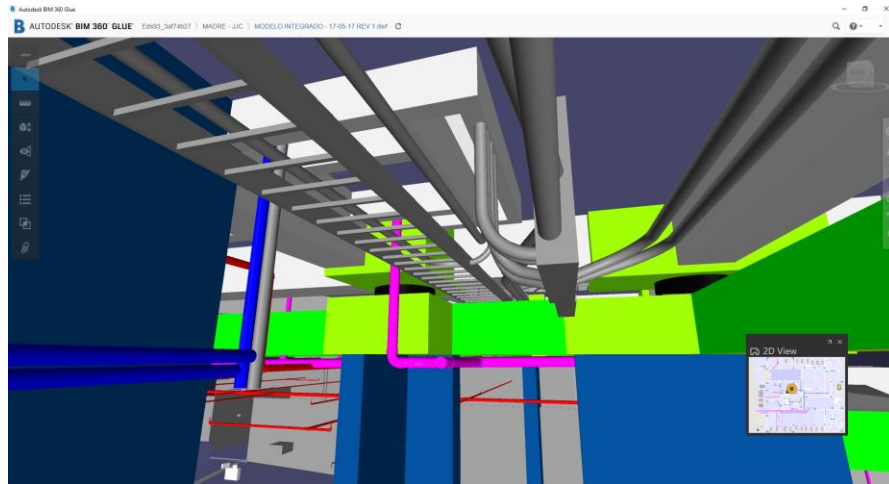


Ilustración 63 Modelo actualizado al LOD correspondiente. Fuente: Propia.

En el caso mostrado, se propuso la distribución que muestra la imagen 60 para la operación: instalación de cajas de pase CCTV, detección, teléfono e intercomunicadores. Sin embargo, no se tomó esta opción debido a que las cajas de inspección deben tener acceso desde la zona inferior, no de manera lateral. La distribución propuesta complica la posición del instalador al momento de dar mantenimiento al sistema.

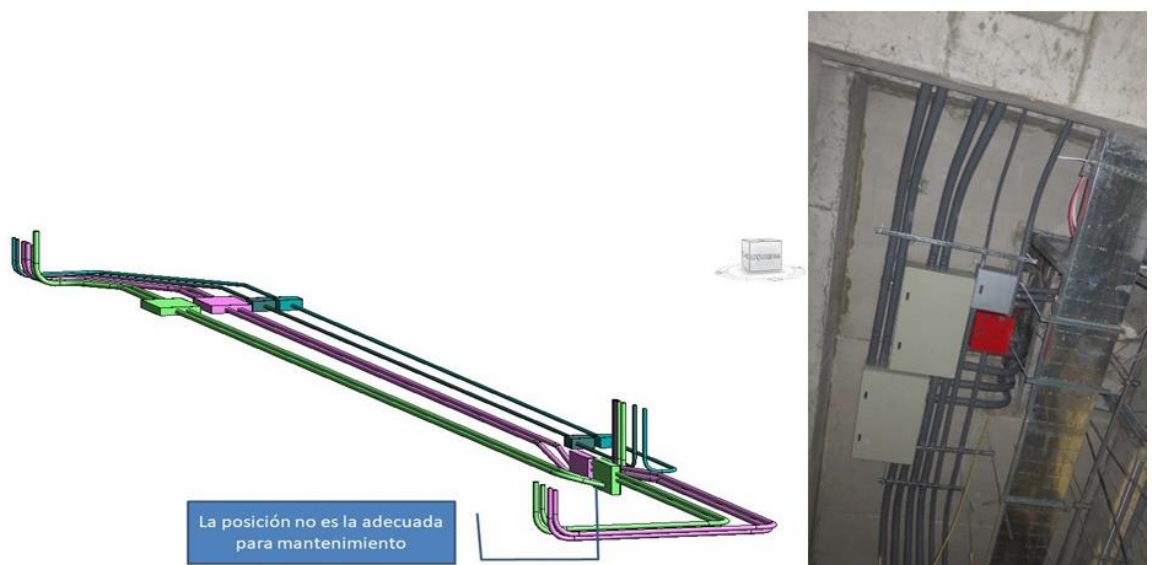


Ilustración 64. Distribución acordada en reunión de coordinación. Fuente: Propia.

Pese a que el modelo fue desarrollado con anticipación, en campo no se instaló según lo coordinado con el capataz. La solución en la fotografía es la adaptada a las condiciones en campo ejecutado por los instaladores y de acuerdo a la disposición final que deben tener las cajas de inspección al momento de la puesta en marcha.

La segunda interferencia resuelta previo al procedimiento de cableado de las bandejas eléctricas es la señalada en rojo. A continuación, se muestra el resultado.

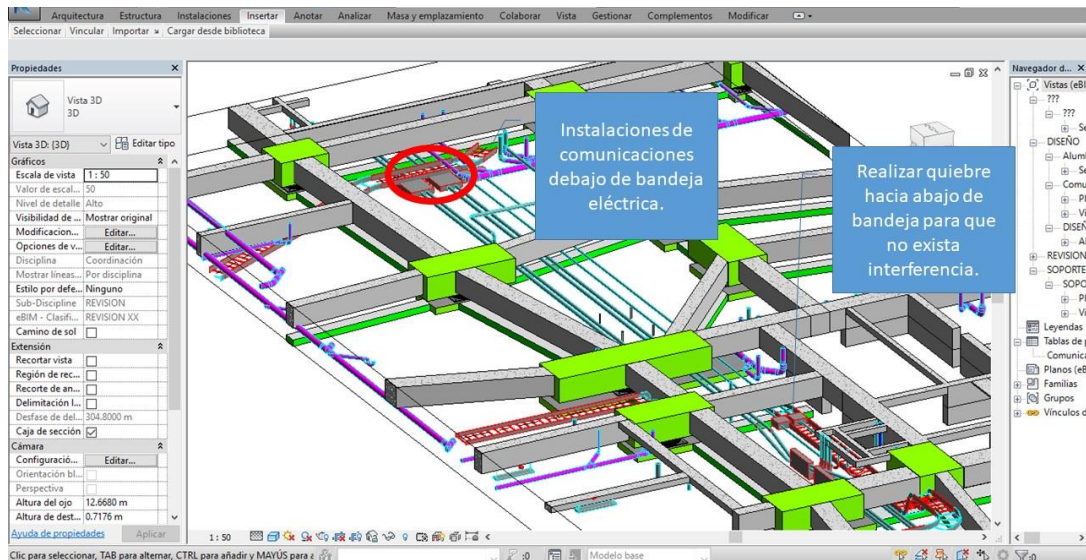


Ilustración 65 Distribución de cajas de pase y bandeja eléctrica. Fuente: Propia.



Ilustración 66 Emplazamiento en campo de cajas de pase de instalaciones de comunicaciones. Fuente: Propia.

Como se aprecia en la imagen, fue posible proceder con la instalación según la planificación y coordinación directa con el instalador.



Ilustración 67 Reunión de coordinación con instalador de instalaciones sanitarias. Fuente: Propia.

IV. Interferencia: red principal de desagüe – cuarto de medidores eléctricos

Uno de los recorridos principales de las instalaciones de desagüe de la edificación (6” de diámetro) tiene su trayectoria por encima del cuarto de medidores o suministros eléctricos. Esta es considerada una restricción de alta importancia por ser una observación que puede ser realizada por el concesionario de servicios eléctricos en el momento de la entrega. A partir de esta observación, el cliente en colaboración con el proyectista logró evaluar algunas soluciones:

- Reubicación de tubería de 6”.
- Protección ante el colapso de tuberías mediante una canaleta inferior.

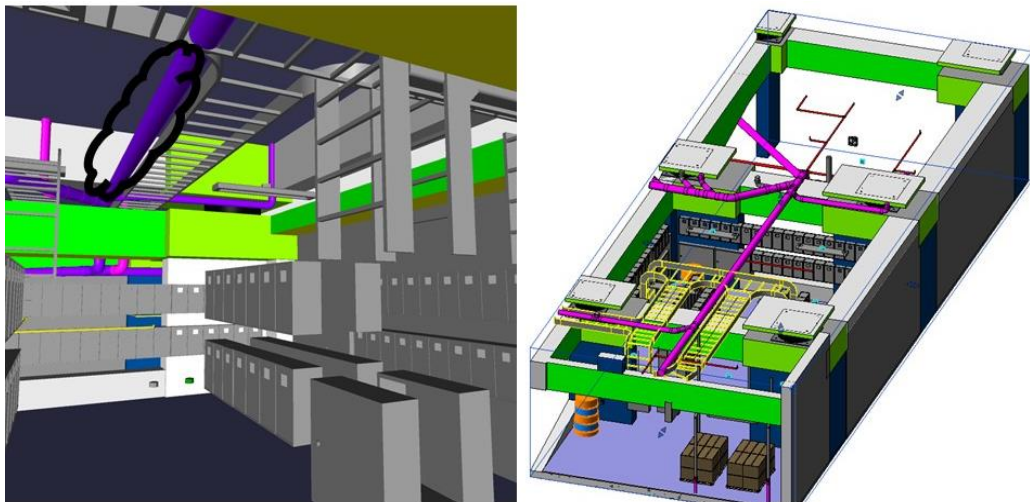


Ilustración 68 Visualización de restricciones en cuarto de medidores. Fuente: Propia.

Finalmente, se optó por la reubicación de la tubería de 6”. El resultado se muestra a continuación.

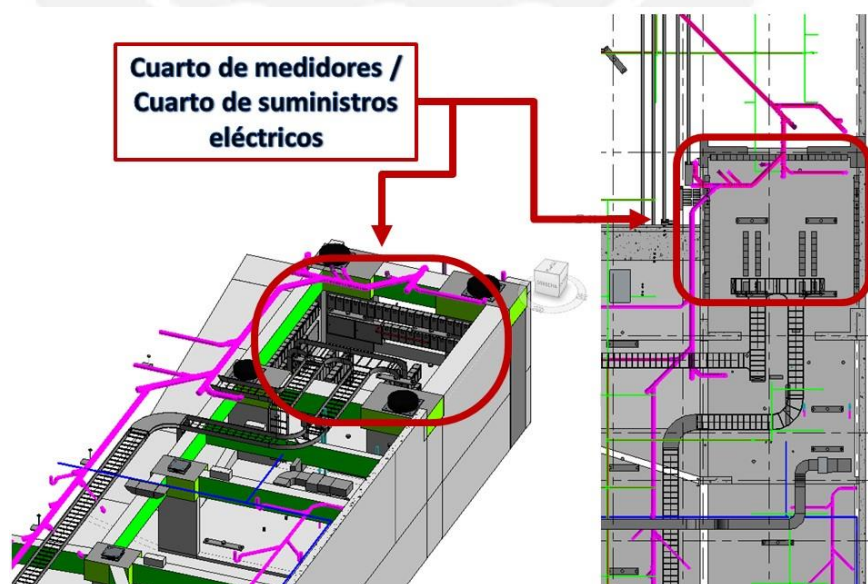


Ilustración 69 Solución para interferencia encontrada en cuarto de medidores. Fuente: Propia.

V. Ducto de extracción mecánico en el baño de servicio

En la semana 2 del caso de estudio, se detectó la interferencia del ducto de extracción de aire del baño de servicio, una tubería principal de desagüe (posteriormente modificada), una tubería de la red ACI y la bandeja de circuitos eléctricos. Adicionalmente, se visualizó en el modelo su dificultad para sortear las instalaciones previamente ensambladas en su recorrido final hasta la montante de ventilación. Teniendo en cuenta la prioridad de estos instaladores en culminar los trabajos en los pisos superiores, el montaje de este sistema aún no estaba contemplado dentro del lookahead. Su instalación se encontraba prevista para realizarse dentro de las últimas semanas del proyecto.

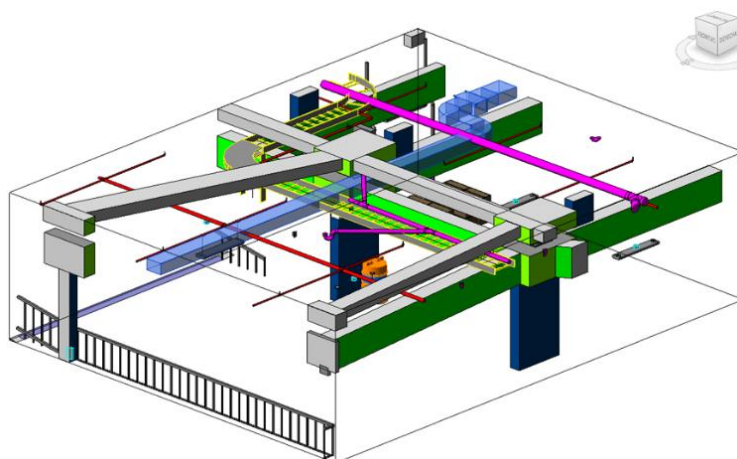


Ilustración 70 Visualización de interferencias para sistema de extracción mecánico de aire en baño de servicio. Fuente: Propia.

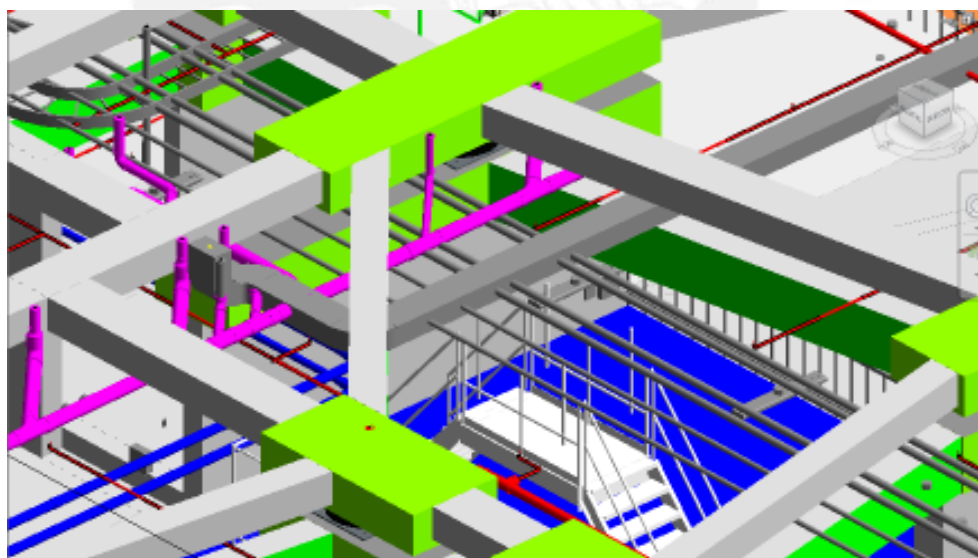


Ilustración 71 Visualización de interferencias a lo largo de sistema de extracción mecánico. Fuente: Propia.

No obstante, se programó dentro de la de última semana de ejecución según cronograma. Como muestra la imagen, se coordinó con el instalador las operaciones necesarias para realizar el ensamblaje y poner en marcha dicho sistema.

Descripción	Und	MES						
		SEMANA -						
		L	M	M	J	V	S	D
IIMM								
INSTALACIÓN DE JETFAN								
Amado de andamios								
Instalación de soportes especiales para doble altura - SI								
Montaje de equipos jetfan - Sectores perimetrales								
MONTAJE DE EQUIPOS DE INYECCIÓN DE AIRE								
Mudanza/deshabilitación mitad de almacén								
Construcción de bases antivibratorias								
Amado de andamios								
Montaje de equipos de inyección sobre base - SIII								
COLOCACIÓN DE DUMPERS ZONA DE INYECCIÓN								
Culminación de cerramiento con vanos para dumpers - SIII								
Colocación de dumpers - SIII								
DUCTO DE EXPULSIÓN DE MONOXIDO								
Instalación de manga de transición - SIII								
Culminación de ducto de expulsión de monóxido-SII								
DUCTO DE VENTILACIÓN MECÁNICA								
Instalación de extractor mecánico - SI		X	X					
Colocación soportes cada 2.40 m - SV				X	X			
Colocación de ductos - SV				X	X			
Embalaje con montaje de ventilación						X	X	

Ilustración 72. Lookahead Projectado. Fuente: Propia.

Se inspeccionó la situación en campo para visualizar alternativas de recorrido para el ducto de extracción mecánica.

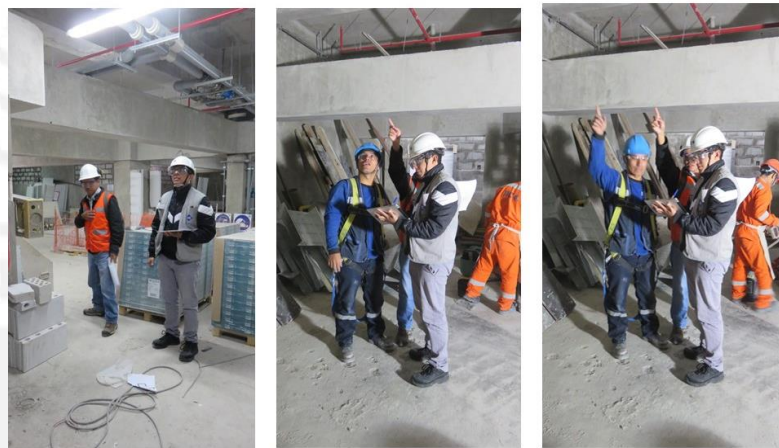


Ilustración 73. Inspección y coordinación en campo del recorrido tentativo del sistema de extracción. Fuente: Propia.

Posteriormente, se procedió a la actualización del sistema haciendo uso del software Revit 2017.

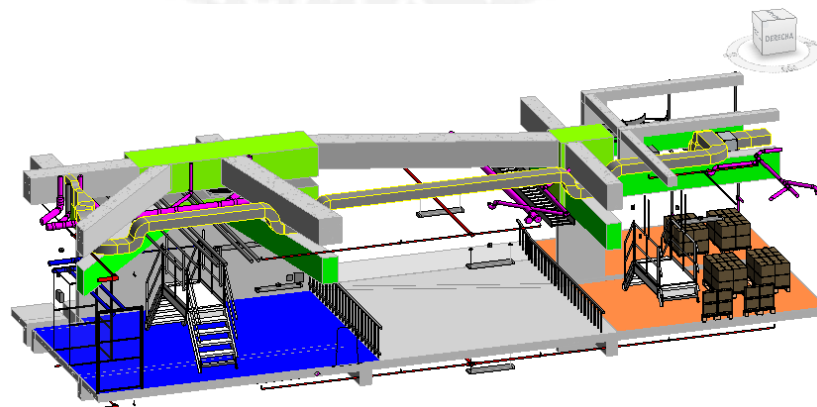


Ilustración 74 Modelamiento y corrección del sistema de extracción mecánico de acuerdo a lo coordinado con instalador. Fuente: Propia.

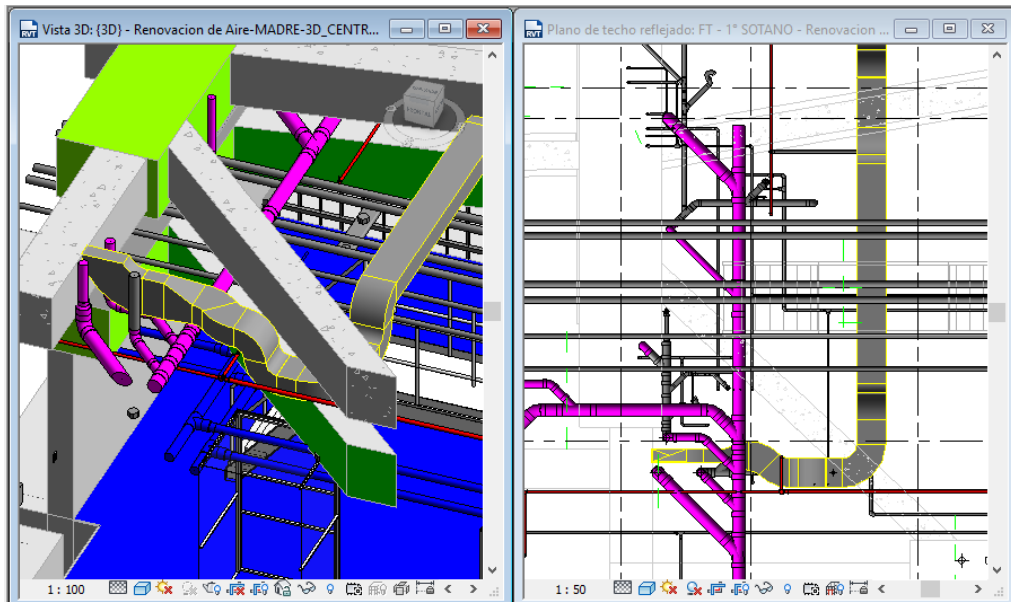


Ilustración 75 Interferencias resueltas. Fuente: Propia.

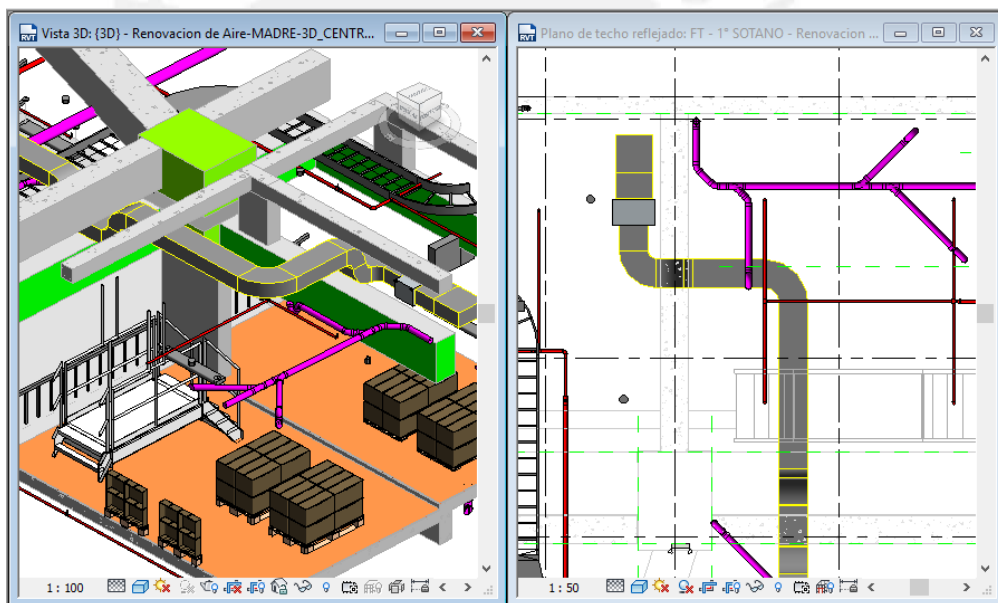


Ilustración 76 Interferencias resueltas. Fuente: Propia.

Tabla 38. Cálculo de materiales: Ductos empleados. Fuente. Propia

<Longitud de ductos>										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
DISCIPLINA	NIVEL	CANTIDAD	FAMILIA	SECCIÓN	ANCHO	ALTO	LONGITUD	AREA	Comentarios	
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	1	Conducto rectangular	7"x19"	7"	19"	0.260 m	0.34 m²	Extracción mecáni	
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	7	Conducto rectangular	16"x10"		10"	13.428 m	17.74 m²	Extracción mecáni	
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	1	Conducto rectangular	19"x7"	19"	7"	0.380 m	0.50 m²	Extracción mecáni	
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción: 9							14.068 m	18.58 m²		

Tabla 39. Calculo de uniones y transiciones de ductos. Fuente: Propia

<Uniones y transiciones de ductos>						
A	B	C	D	E	F	G
DISCIPLINA	NIVEL DE ELEMENTO	CANTIDAD	FAMILIA	TIPO	TAMANO	Comentarios
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	12	Codo rectangular	IM - Fierro Galvanizado	10"x16"-10"x16"	Extracción mecáni
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	4	Codo rectangular	IM - Fierro Galvanizado	16"x10"-16"x10"	Extracción mecáni
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	1	Codo rectangular	IM - Fierro Galvanizado	19"x7"-19"x7"	Extracción mecáni
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción	SÓTANO 1	1	Reduccion rectangular	IM - Fierro Galvanizado	16"x10"-7"x19"	Extracción mecáni
IM - Sistema de Ventilación Forzada - Extracción: 18						

El modelo fue elaborado en coordinación con el instalador. Las tablas obtenidas poseen una alta confiabilidad por ser derivadas del modelo. La diferencia con la cantidad real de material utilizada será comparada posteriormente.

a. Proceso de instalación

El proceso de instalación del sistema de ducto de extracción mecánico en baño de servicio, se muestra a continuación.



Ilustración 77 Proceso de instalación de ducto de extracción. Fuente. Propia.



Ilustración 78 Ducto instalado. Fuente: Propia.



Ilustración 79 Proceso de instalación. Fuente: Propia.

b. Medición del sistema en campo

Paralelamente al montaje realizado, se llevó a cabo la medición de los componentes del sistema. La cuantificación de los elementos a usar se comparó con los obtenidos por el modelo BIM. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 40. Comparación de totales de materiales según modelo BIM y dimensiones reales en campo. Fuente: Propia.

CAMPO		MODELO	
DETALLE	LONGITUD (m)	DETALLE	LONGITUD (m)
Ducto 19"x7"	0.5	Ducto 19"x7"	0.4
Ducto 19"x7"	0.1	Ducto 19"x7"	0.26
Trasición 19"x7" - 16"x10"	0.4	Trasición 19"x7" - 16"x10"	0.38
TOTAL	1.00	TOTAL	1.04

CAMPO		MODELO	
DETALLE	CANTIDAD (und)	DETALLE	CANTIDAD (und)
Codo 90º 19"x7" Radio = 8"	1	Codo 90º 19"x7" Radio = 8"	1
Codo 90º 16"x10"	2	Codo 90º 16"x10"	2

CAMPO		MODELO	
DETALLE	LONGITUD (m)	DETALLE	LONGITUD (m)
Transición vertical 16"x10"	0.68	Transición vertical 16"x10"	0.508
Transición horizontal 16"x10"	0.45	Quiebre horizontal 16"x10"	0.58
Ducto 16"x10"	0.8	Transición vertical 16"x10"	0.508
Transición vertical 16"x10"	0.6	Transición vertical 16"x10"	0.508
Ducto 16"x10"	3.26	Transición vertical 16"x10"	0.508
Transición vertical 16"x10"	0.6	Transición vertical 16"x10"	0.508
Ducto 16"x10"	0.9	Transición vertical 16"x10"	0.508
Transición vertical 16"x10"	0.6	Ducto 16"x10"	13.42
Ducto 16"x10"	6.14		
Transición vertical 16"x10"	0.5		
Ducto 16"x10"	0.55		
Transición vertical 16"x10"	0.5		
Ducto 16"x10"	2.8		
TOTAL	18.38	TOTAL	17.048

Los resultados ejecutados en campo difieren ligeramente de los resultados obtenidos mediante el modelo BIM. En cuanto a los ductos de dimensión de 19"x7" se tiene una diferencia -3.84% de longitud respecto al modelo. Esta diferencia es negativa, es decir faltó considerar mayor longitud en el modelo respecto a la realidad. Por otro lado, los ductos de dimensión de 16"x10" presentan una diferencia de 7.81% de longitud. Lo que representa una mayor longitud considerada en campo en comparación al modelo BIM.

VI. Sistema de drenaje del patio 2

El sistema de drenaje de uno de los patios también estuvo considerado dentro de las últimas semanas del proyecto. A continuación, se muestra el modelo resuelto en colaboración con el capataz de la especialidad.

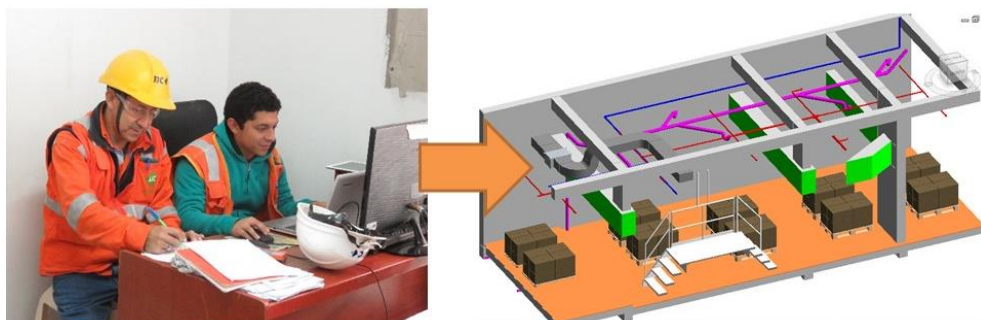


Ilustración 80. Coordinación directa con instalador para el diseño de operaciones: Instalación de soportes y tuberías de sumideros. Fuente: Propia.

El fin de modelar los sistemas MEP a un LOD de 400, hace posible obtener información confiable. El despiece del sistema, como se puede apreciar, es usado para trasladar al frente de trabajo la cantidad de material correcta para su instalación. En las tablas mostradas, se puede apreciar el recuento de los accesorios usados en el sector estudiado y los metros lineales de tuberías de 3" empleadas. Dentro del modelo final es posible observar, al detalle, el diseño para llegar hasta la salida de sumidero que se conectará al primer piso, unidad funcional del sistema a instalar.



Ilustración 81 Situación en campo para elementos coordinados a instalar. Fuente: Propia.

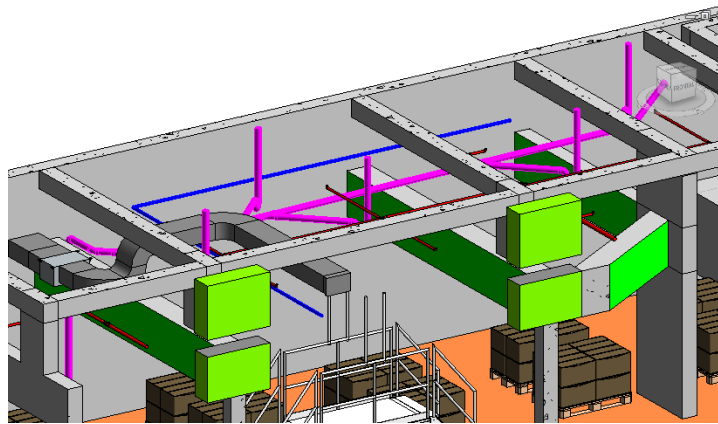


Ilustración 82. Modelo final del sistema, previo a su instalación (restricciones resueltas). Fuente: Propia.

Tabla 41. Cálculo de materiales en Revit 2017. Fuente: Propia.

<Tuberías - Sector SI>				
A	B	C	D	E
Sistema	Nivel del Elemento	Size	Length	Comentarios
IS - Sistema de Desague Expuesto				
3"				
IS - Sistema de Desague Expuesto	01° PISO	3"	22.46	Drenaje - Patio 2
			22.46	

Tabla 42. Cálculo de materiales en Revit 2017. Fuente: Propia.

Aparatos y Salidas - Sector SI			
A	B	C	D
Nivel del Elemento	Family and Type	Count	Comentarios
01° PISO	SUMIDERO DE PISO: 3"	5	Drenaje - Patio 2

Tabla 43. Conteo de accesorios a instalar en Revit 2017. Fuente: Propia.

<Accesorios Sanitarios - Sector SI>					
A	B	C	D	E	F
System Type	Nivel del Elemento	Family and Type	Count	Size	Comentarios
IS - Sistema de Desague Expuesto					
01° PISO					
M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV: Standard					
IS - Sistema de Desague Expuesto	01° PISO	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV: Standard	5	3"-3"	Drenaje - Patio 2
M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV: Standard: 5					
M_Cap - PVC - Sch 40 - DWV: Standard					
IS - Sistema de Desague Expuesto	01° PISO	M_Cap - PVC - Sch 40 - DWV: Standard	1	3"	Drenaje - Patio 2
M_Cap - PVC - Sch 40 - DWV: Standard: 1					
M_Trap P - PVC - Sch 40 - DWV: Standard					
IS - Sistema de Desague Expuesto	01° PISO	M_Trap P - PVC - Sch 40 - DWV: Standard	5	3"-3"	Drenaje - Patio 2
M_Trap P - PVC - Sch 40 - DWV: Standard: 5					
Tee Sanitary - PVC - Sch 40 - DWV: Standard					
IS - Sistema de Desague Expuesto	01° PISO	Tee Sanitary - PVC - Sch 40 - DWV: Standard	5	3"-3"-3"	Drenaje - Patio 2
Tee Sanitary - PVC - Sch 40 - DWV: Standard: 5					
01° PISO: 16					
01° SOTANO					
M_Reducer - PVC - Sch 40 - DWV: Standard					
IS - Sistema de Desague Expuesto	01° SOTANO	M_Reducer - PVC - Sch 40 - DWV: Standard	1	4"-3"	Drenaje - Patio 2
M_Reducer - PVC - Sch 40 - DWV: Standard: 1					
01° SOTANO: 1					
IS - Sistema de Desague Expuesto: 17					
Grand total: 17					

Los códigos de materiales usados son los siguientes:

- M_Bend – PVC: Codo de 45° sanitario
- M_Cap – PVC: Tapa de las dimensiones de 3”
- M_Trap P – PVC: Trampa sanitaria tipo “P” de 3”
- Tee Sanitary – PVC: Y sanitaria con salidas de 3”
- M_Reducer – PVC: Reductor de diámetro de 4” a 3”

VII. Instalación de elementos en alturas pronunciadas

El diseño de aisladores sísmicos generó en el sótano 1 alturas donde era requerido un equipo especial para la ejecución de los trabajos. Dentro de las reuniones colaborativas fue posible determinar, mediante el modelo BIM, los trabajos a alturas elevadas. En la siguiente imagen se muestra uno de ellos: instalación de red de desagüe. Los trabajos de instalaciones debían superar alturas entre 8 ft a 18 ft de altura. Se detectaron restricciones en las operaciones de instalación de soportes e instalación de tuberías.

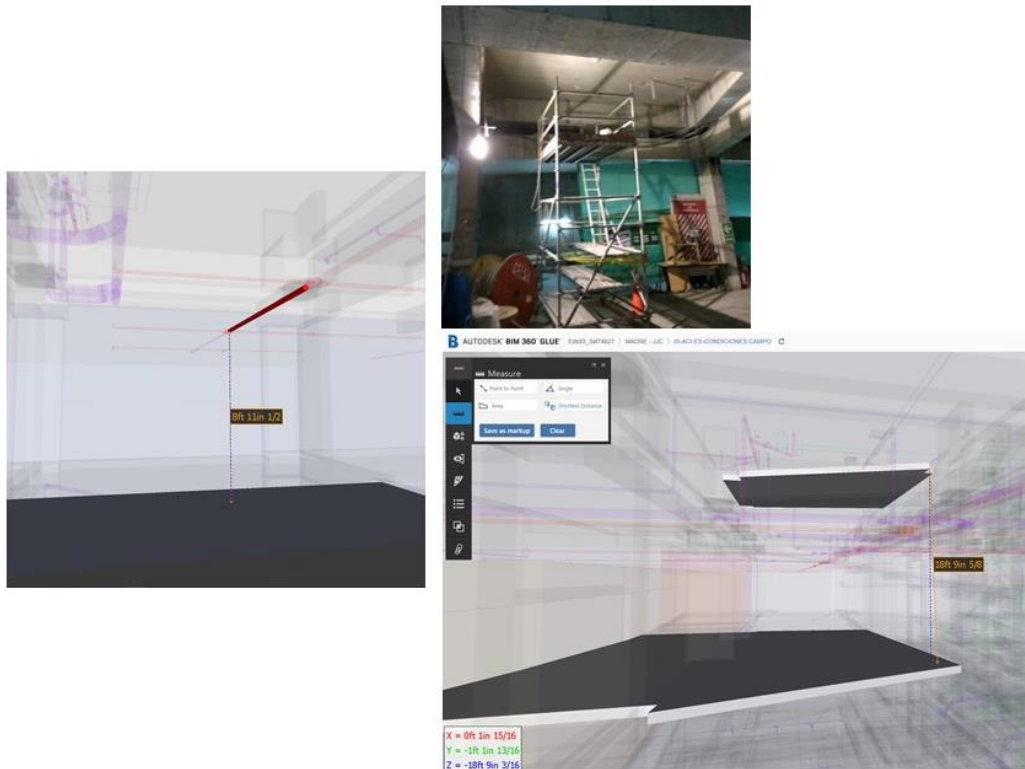


Ilustración 83 Visualización de restricciones de altura. Fuente: Propia.

VIII. Ducto de inyección de aire y extracción de monóxido en vestíbulo previo.

Se generó un problema en la especialidad de instalaciones mecánicas, en la zona SV, en el vestíbulo previo. La configuración del nivel de aislamiento, generó que el desarrollo del ducto no fuera continuo en toda la altura de la edificación. El software Revit, permitió observar la interferencia desde distintos puntos de vista. A partir de estas vistas, se pudo realizar una solicitud de información al cliente. En este caso, se observa como el ducto es un elemento discontinuo en la zona de unión entre el sótano 1 y el piso 1. En consecuencia, se generó una partida adicional: ducto discontinuo de extracción de monóxido e inyección de aire. Esta fue descompuesta en operaciones para su ejecución.

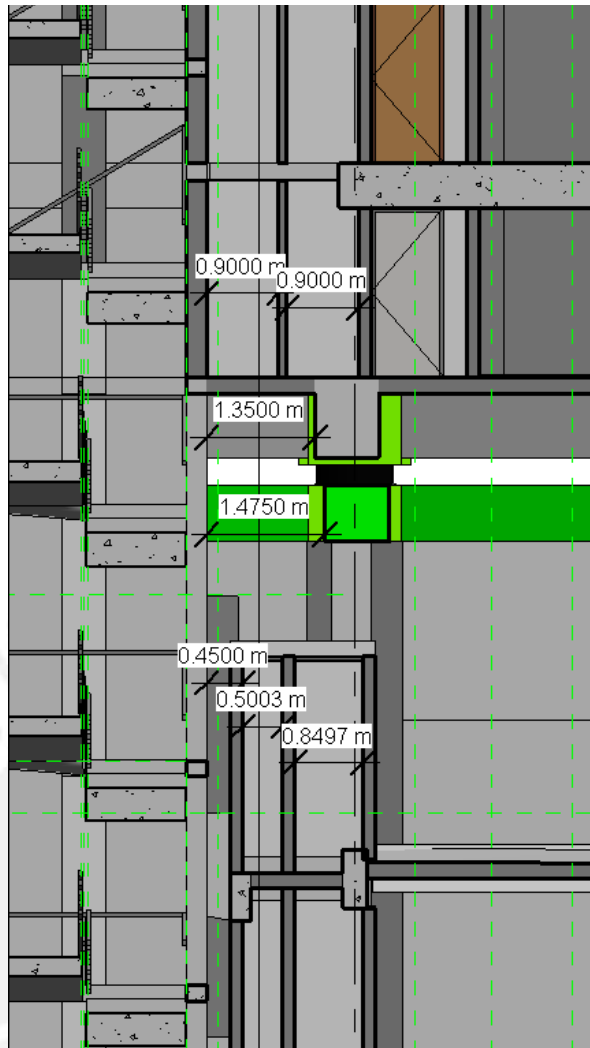


Ilustración 84 Visualización de secciones variables en altura del ducto de inyección y extracción de monóxido.
Fuente: Propia.

4.2.3. OBSERVACIONES

- En el Lookahead propuesto, se presentan las actividades totales a realizar en sótanos con relación a las especialidades estudiadas (IIEE, IISS, IIMM y ACI). Cabe agregar, que los recursos de mano de obra disponibles para la ejecución de estas actividades también son requeridos para actividades de otros frentes. Debido a las condiciones descritas previamente, la entrega de los pisos superiores repercutió en el avance regular de los sótanos y esto ocasiona que su programa se actualice semana a semana.
- Es importante recordar que la coyuntura del proyecto obligó a reducir los recursos y dar prioridades a actividades en otros frentes según requerimiento inmediato del cliente y al margen de la programación realizada, aumentando la variabilidad que se busca controlar.
- Se presentaron interferencias espaciales en campo debido a la ejecución simultánea programada de actividades distintas dentro de un mismo sector. Una cantidad determinada de andamios fue destinada a uno de los capataces, el cual coordina con esas dos especialidades (ACI e IISS). El cree pertinente el uso del andamio para ambas especialidades antes de la realización de un movimiento o traslado para este.
- La coordinación realizada es directamente con el capataz. Sin embargo, la instalación es realizada por los operarios y son ellos los últimos constructores y quienes resuelven los conflictos e interferencias que puedan presentarse en el momento de instalación.
- La falta de familiaridad de los capataces en el modelo BIM genera en ellos aburrimiento y falta de compromiso con respecto a las nuevas técnicas implementadas y a la programación.
- Es recomendable identificar al último instalador, a quien se debe incluir dentro del proceso estudiado para llevar a cabo la planificación en sus horizontes medio e inmediato.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. DEL DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En búsqueda de información preliminar de la cual poder comenzar el “Diagnóstico de la situación actual” del sector construcción en la ciudad de Lima, quedó al descubierto lo que se estimaba. La industria de la construcción, en nuestro entorno, carece de información oficial y de organismos que la difundan por medio de indicadores o estudios que permitan ser base de investigaciones posteriores. Este problema dificultó la delimitación de la población para el análisis de actualidad en la industria a través de encuestas. Paralelamente a la búsqueda de información preliminar, se debe analizar, el tratamiento que se le dará a los resultados de las encuestas. Es decir, que tipo de tablas se obtendrán, estimar los resultados, los cuales podrían ser considerados como hipótesis que el estudio validará cuando esté concluido.

Para el análisis de la población se buscó delimitar una muestra representativa. El muestreo probabilístico (aleatorio simple) quedo descartado. Esto, debido a los recursos disponibles en la investigación y los parámetros mínimos requeridos para lograrlo. Entre ellos, contar con un registro total de los elementos que pertenecen a la población con la finalidad de seleccionar un espécimen aleatoriamente para realizar la encuesta. Como resultado se optó por el muestreo no probabilístico (diseñado a conveniencia), el cual se adaptó a la naturaleza de la industria y a las condiciones desfavorables de la obtención de data por medio de encuestas. Con la finalidad de representar fielmente a la población se usó el recurso de la estratificación. En un primer momento, se trató de emplear la información brindada por la publicación “Perú: The Top 10’000 Companies 2015” para la estratificación, sin embargo, no fue posible pues la unidad de análisis fueron los proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima y Callao y no las empresas constructoras. Los valores obtenidos de este ranking representan la cantidad de empresas constructoras en el país, entre las que también se encuentran empresas que no se desempeñan en la construcción de edificaciones. El valor a encontrar para contribuir a la estratificación de la muestra debió ser la cantidad de proyectos por tamaño de empresa constructora en la ciudad de Lima. Finalmente, se representó a la población a través de la muestra estratificada por tipo de proyecto y mostrando su diversidad en cuanto al tipo de empresa a la que pertenecen. A partir de estas condiciones, es posible afirmar que los resultados obtenidos en las encuestas son extrapolables a la ciudad de Lima. Luego de recopilados los resultados, fue posible realizar un análisis desde la estadística descriptiva ejecutada en el capítulo comentado. Este análisis fue realizado por medio de medias, desviaciones, cuadros tipo pie y cuadros de barras para los valores obtenidos y

frecuencias en los resultados. Uno de los elementos más resaltantes fue el comportamiento de la desviación estándar para las distintas variables. Se concluyó que su comportamiento representa la variabilidad entre los proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima. Adicionalmente, se observó que su análisis por estratos permite distinguir donde se presenta la mayor variabilidad. En el caso de las herramientas de LPS, inicialmente se realizó el análisis sobre el total de la muestra, luego según tipos de herramienta y etapa del proyecto; y, finalmente, según tipos de herramienta, etapa del proyecto y tamaño de empresa. Esto permite distinguir las tendencias sobre el uso de cada tipo de herramientas en las distintas etapas y tipos de proyecto según el tamaño de empresa a la que pertenecen.

Tabla 44. Evaluación de frecuencia y desviación estándar en el uso de los sistemas gestión. Fuente propia.

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN	CALIFICACIÓN	FRECUENCIA	DESV. ESTANDAR
Last Planner	4.12	Ocasionalmente	2.03
PMBOK	2.60	Raramente	1.76
BIM	2.08	Muy raramente	1.73

Tabla 45. Evaluación de frecuencia y desviación estándar del uso de herramientas LPS según etapa del proyecto. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	ESTRUCTURAS		ACABADOS Y EQUIPAMIENTO	
	MEDIA	DESV. ESTANDAR	MEDIA	DESV. ESTANDAR
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.82	1.88	3.63	2.02
Lookahead planning	4.47	2.23	4.00	2.27
Análisis de restricciones	4.53	2.14	3.98	2.25
Plan semanal	4.58	2.01	4.05	2.04
Plan diario	4.05	2.24	3.43	2.15
Medición del PPC	4.03	2.28	3.60	2.17
Análisis de causas de no cumplimiento de la programación	3.73	2.07	3.35	2.10

Tabla 46. Evaluación de frecuencia y desviación estándar del uso de herramientas LPS según etapa del proyecto (estructuras) y tamaño de empresa. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
	MEDIA	DESV. EST.	MEDIA	DESV. EST.	MEDIA	DESV. EST.
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.15	1.86	3.86	2.13	3.91	2.23
Lookahead Planning	3.15	2.18	3.95	2.38	4.70	2.23
Análisis de restricciones	2.92	2.17	4.24	2.36	4.48	2.22
Plan semanal	3.46	2.02	4.52	1.99	4.22	2.07
Plan diario	3.00	2.18	3.10	2.30	4.04	1.96
Medición del PPC	2.15	2.14	4.14	2.31	4.04	1.57
Análisis de causas del no cumplimiento	2.54	2.25	3.52	2.32	3.83	1.27

Tabla 47. Evaluación de frecuencia y desviación estándar del uso de herramientas LPS según etapa del proyecto (acabados y equipamiento) y tamaño de empresa. Fuente: Propia.

HERRAMIENTAS	PEQUEÑA		MEDIANA		GRANDE	
	MEDIA	DESV. EST.	MEDIA	DESV. EST.	MEDIA	DESV. EST.
Planificación colaborativa con subcontratistas	3.38	1.97	3.95	1.94	4.04	1.85
Lookahead Planning	3.69	2.07	4.38	2.27	5.22	2.36
Análisis de restricciones	3.31	2.09	4.71	2.08	5.26	1.97
Plan semanal	4.08	1.79	4.52	2.02	5.26	2.06
Plan diario	3.23	2.06	3.71	2.35	4.96	2.20
Medición del PPC	2.15	1.95	4.38	2.20	5.09	1.77
Análisis de causas del no cumplimiento	2.85	2.19	3.57	2.11	4.61	1.28

También, se concluyó que la planificación colaborativa es implementada únicamente por las dos terceras partes de la población. Es importante acotar, que las diferencias entre estas dos etapas son estadísticamente nulas. Ambas se caracterizan por tener baja confiabilidad dentro de su planificación, por lo que los resultados son tanto alarmantes como justificados.



Ilustración 85. Porcentaje de la herramienta "Planificación Colaborativa con S/C" según etapa del proyecto.
Fuente: Propia.

5.1.2. DEL CASO DE ESTUDIO

En el proceso de modelamiento, la confianza y experiencia entre el modelador, planner e instalador genera el desarrollo de modelos más precisos. Adicionalmente, la experiencia que puede aportar el equipo involucrado en el modelo con respecto al procedimiento de instalación y conocimiento de elementos que conforman un sistema MEP permite un desarrollo construible al momento de la ejecución. Caso contrario, el modelo será únicamente teórico.

Dentro del caso de estudio llevado a cabo en esta investigación, el LOD posee una importancia determinante en su ejecución. Se puede concluir, que se debe establecer un LOD mínimo por especialidad para obtener beneficios sustanciales de la sinergia entre BIM y LPS. Dentro de esta investigación se optó por los LOD mostrados en la tabla 42, únicamente, válidos para las partidas estudiadas.

Con los LOD adecuados por especialidad, el modelo permite identificar restricciones futuras que se presentaran en campo, de diseño y alcance, para poder plantear alternativas de solución. Es importante acotar, que a mayor nivel de desarrollo y actualización respecto al avance, mayor será el potencial de resolver interferencias previas a la instalación de sistemas MEP. Se presentaron dos casos representativos de esta afirmación. El primero, presentó un LOD de 250 para las obras provisionales, pues es posible determinar restricciones gruesas del proyecto bajo ese LOD. Por otro lado, un LOD 400 garantiza una confiabilidad más alta del despiece de un sistema modelado. Esto representa un paso previo a la prefabricación.

La planificación y control del frente estudiado se evaluó desde el enfoque LPS en sinergia con BIM. Entre las herramientas empleadas, se tuvieron el análisis de restricciones, PPC y análisis de causas de no cumplimiento de lo programado. Durante evaluación del PPC en las semanas de ejecución del caso de estudio, este permitió visualizar la mejora sobre la confiabilidad en la planificación. Sin embargo, la coyuntura no permitió superar la mejora de 17.7% a lo largo de las 5 semanas que tuvo de duración. Las causas de no cumplimiento de la programación así lo reflejan. La mano de obra necesaria para la ejecución de las

actividades programadas era requerida en otros frentes de trabajo, por lo que presenta una incidencia del 36% respecto a las causas de no cumplimiento encontradas. Con respecto al análisis de restricciones, teniendo como herramienta principal el modelo BIM del proyecto, se logró identificar una gran cantidad estas del tipo “Ubicación de elementos e “Incompatibilidad de diseño”, 26% y 16%, respectivamente. Este tipo de restricciones fueron visualizadas a partir del modelo y el Lookahead descompuesto en operaciones.

Tabla 48. LODs descritos por sistemas. Fuente: Propia.

SISTEMA	LOD	MODELAMIENTO
Obras provisionales	250	Ubicación, dimensiones, forma, orientación y cantidad.
Obras civiles	300	Localización, materiales, dimensiones, forma, orientación y cantidad
Sistema de agua contra incendios	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, diámetros, longitudes, localización, orientación y materiales.
Sistema de extracción de mecánica	400	Localización, orientación, materiales, dimensiones y radio de giro de ductos, y elementos de sujeción.
Sistema de ventilación forzada	250	Localización, orientación y dimensiones de equipos.
Redes de agua	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, diámetro, longitud, localización, orientación y materiales.
Redes de desagüe	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, diámetros, longitudes, pendientes, localización, orientación y materiales.
Sistema eléctrico	350	Tuberías, bandejas, medidores, tableros, accesorios, elementos de sujeción, cajas de pase, dimensiones, localización, orientación y materiales.
Sistema de comunicaciones Teléfono CCTV Sistema contra incendios Intercomunicadores	350	Tuberías, accesorios, elementos de sujeción, cajas de pase, dimensiones, localización, orientación, materiales y nombre de subsistema.

La sinergia BIM y LPS tiene sus mayores beneficios en la etapa de Lookahead Planning mediante la proyección de trabajo sobre las cuatro semanas en el futuro. Además, el uso de BIM como herramienta de coordinación dentro de la etapa de Lookahead Planning permite identificar restricciones al nivel de operaciones. Adicionalmente, aporta en su liberación desde las herramientas Detección de incompatibilidades, Análisis y diseño de operaciones y Calculo de materiales.

En el caso especial de las partidas MEP, se llegó a la conclusión que la sectorización debe ser realizada por cada unidad funcional. Es decir, agrupar las actividades que conformen la entrega de una parte operativa del sistema al que pertenecen, según lo analizado: grupo de montantes, grupo de sumideros, unidad jetfan instalada. De esta manera, es cuantificable el avance en el montaje e instalación y la cantidad de trabajo a realizar por los instaladores. Adicionalmente, se concluyó que la presencia, únicamente, de un capataz responsable no es suficiente dentro de las reuniones de coordinación. Se propone que el especialista de

instalaciones también participe dentro de estas, debido a que poseen un panorama más amplio de las actividades pendientes. De esta manera, el capataz responsable puede aportar a partir de la identificación de las restricciones operativas que pueda detectar con anticipación, como se realizó a lo largo del caso de estudio.

Finalmente, después del desarrollo de esta investigación se puede corroborar lo propuesto en sus inicios. La implementación de un modelo BIM en la gestión entre ambos interesados (contratista y subcontratista), efectivamente, mejora la calidad, comunicación para la planificación y el entendimiento previo a la ejecución de las operaciones que conforman una partida. También, el flujo de información en la construcción, con ayuda del modelo BIM, minimiza los inconvenientes en el ensamblaje o ejecución de una partida. Asimismo, el modelo BIM aporta con información relevante al proveedor para un adecuado dimensionamiento, en planta del sistema antes de llegar a obra. Este caso se pudo observar en el desarrollo de la partida de instalación de ventilación mecánica del baño de servicio en el sótano 1.

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1. DEL DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

- Analizar los datos de manera estratificada, nos permite obtener un panorama más preciso para el diagnóstico de la situación actual, al no contarse con un muestreo probabilístico. De esta manera es posible documentar el comportamiento de los proyectos de construcción al día de hoy.
- Las preguntas del cuestionario deben ser correctamente formuladas y no deben prestarse a segundas interpretaciones. Si es posible, se debe realizar una prueba piloto del cuestionario para garantizar su validez y precisión.
- La etapa de toma de datos mediante las herramientas de diagnóstico puede ser calificada como la etapa más extensa dentro del proyecto de investigación, pues se vio necesario continuar con la recolección de datos hasta obtener una muestra más representativa de la realidad.
- Para la elaboración de una metodología es necesario realizar una revisión de la literatura relacionada a metodologías similares o metodologías ligadas a la actividad del área en la que se quiere implementar. A partir de otras metodologías es posible desarrollar una nueva, que continúe con la revisada o bajo su mismo esquema. Además, se debe tener en cuenta que se debe citar el material correspondiente de ser usado.

- Una correcta delimitación del tema a estudiar debe ser establecida desde el inicio del proyecto de investigación. Además, se debe evitar salir del alcance del proyecto para incurrir en desviaciones del objetivo principal.
- Si se pretende realizar un análisis de la desviación estándar, este debe ser respecto de variables similares. En el capítulo 3, en la sección de estudio de la frecuencia de implementación de herramientas LPS se compara la misma variable para los proyectos de distintos tamaños de empresas. Bajo esta premisa, se aprecia que la desviación estándar es relativamente alta para la escala propuesta, lo que refleja la variabilidad en la frecuencia de implementación entre los proyectos según el tamaño de las empresas.
- La fidelidad con la que se trata de representar el universo a estudiar a través de la muestra analizada para las encuestas puede ser mejorada en investigaciones posteriores.

5.2.2. DEL CASO DE ESTUDIO

- Se recomienda tener un modelo actualizado permanentemente de acuerdo al avance del proyecto. Asimismo, promover la participación de los capataces en reuniones de coordinación usando el modelo, con la finalidad de que se familiaricen con las nuevas prácticas implementadas.
- Escoger un horario adecuado para llevar a cabo las reuniones de coordinación.
- Se recomienda tener un modelador permanente en obra, quien se ocupe de la actualización de los modelos de los sistemas.
- El personal técnico debe recibir la capacitación debida para el manejo y el conocimiento del alcance de la herramienta, con la finalidad que sepan que cuentan con una herramienta facilitadora.
- Los profesionales operativos deben ser capacitados en poder gestionar la información de las herramientas BIM. Deben conocer los beneficios que se pueden obtener de un modelo desarrollado según el LOD implementado en el proyecto según las partidas ejecutadas.

REFERENCIAS

- BALLARD, Glenn (2000). The Last Planner System of Production Control. Thesis for the degree of PhD. Faculty of Engineering. University of Birmingham. UK.
- BALLARD, G. (2000). LCI White Paper #8 Lean Project Delivery System. Lean Construction Institute.
- BALLARD, G. and ARBULU, R. (2004). Making Prefabrication Lean. Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Helsingor, Denmark.
- BALLARD, G. y ZABELLE, T. (2000). LCI White Paper #9 Project Definition. Lean Construction Institute.
- BALLARD, G., & TOMMELEIN, I. (2016). Current process benchmark for the Last Planner® System. *Lean Construction Journal*, 57-89.
- BIMFORUM. (2013). “Level of Development Specification”. Recuperado el 05 de noviembre del 2017: <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. and COOPER, M. B. (2002). *Supply Chain Logistics Management*, vol2. New York, NY: McGraw-Hill.
- CAMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2015). “20° Estudio, El mercado de edificaciones urbanas de Lima y Callao” Lima, Perú.
- CHOPRA, S. and MEINDL, P. (2007). *Supply Chain Management. Strategy, Planning & Operation*. Gabler.
- CHRISTOPHER, M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service*. Pitman Publishing, London, UK.
- CLEMENTE, J. and CACHADINHA, N. (2013). BIM-LEAN Synergies in the Management on MEP Works in Public Facilities of Intensive Use – a Case Study. IGLC #21. Fortaleza, Brazil.
- DAVE, B., KOSKELA, L., KIVNIEMI, A., OWEN, R. L. and TZORTZOPOULOS, P. (2013). *Implementing Lean in Construction: Lean Construction and BIM – CIRIA Guide*. C725. London.
- DAVIES, R. and HARTY, C. (2013). Implementing “Site BIM”: a Case Study of ICT Innovation on a Large Hospital Project. *Automation in Construction*, 30, pp. 15-24. Elsevier.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, TRANSPORT AND THE REGIONS, LONDON (UK). (1998). *Rethinking Construction the Report of the Construction Task Force to the Deputy Prime Minister, John Prescott. On the scope for improving the quality and efficiency of UK construction*. London, UK.

- EASTMAN, C. M., TEICHOLZ, P., SACKS, R. and LISTON, K. (2008). BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Architects, Engineers, Contractors and Fabricators, 2nd edition, John Wiley and Sons, UK.
- GUZMÁN, A. (2014). “Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y Control de Proyecto”. Tesis: Facultad de Ciencias e Ingeniería. PUCP - Lima.
- HAMZEH, F., TOMMELEIN, I., BALLARD, G., and KAMINSKY P. 2007. Logistics Centers to Support Project – Based Production in the Construction Industry. Proceedings International Group for Lean Construction. Michigan, USA.
- HEREDIA, B. (2003). Diagnóstico y Metodología de Aplicación de la Administración de la Cadena de Abastecimiento en la Construcción. Tesis de Mg. Cs. Santiago. Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería.
- HERNANDEZ SAMPIERI, R., FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, C. (2010). Metodología de la investigación. México: Editorial McGraw Hill.
- HONG-MINH, S., BARKER, R. and NAIM, M. (2000). Identifying Supply Chain Solutions in the UK House Building Sector. European Journal of Purchasing & Supply Management, 7(1), 49-59.
- HOWELL, G. A. (1999). What is Lean Construction? In proceedings International Group for Lean Construction. Vol.7 p.1.
- HUATUCO, R. 2017. “Mejorando la visualización y la comunicación en el Last Planner System a través del uso de modelos BIM”. Tesis: Facultad de Ciencias e Ingeniería. PUCP – Lima.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. (2011). Buenas prácticas de una investigación por muestreo. Consulta 12 de mayo de 2016. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/metodologias/encuestas01.pdf>
- KEMMER, S., KOSKELA, L., SAPOUNTZIS, S. and CODINHOTO, R. 2011. A lean way of design and production for healthcare and construction projects. Global Health Infrastructure – Challenges for the next decade, Delivering innovation, demonstrating the benefits. Manchester, UK.
- KHANZODE, A. (2010). An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP. CIFE Technical Report #TR187. CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA, USA.
- KHANZODE, A., FISCHER, M., REED, D. and BALLARD, G., 2006. A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. CIFE Working Paper #093. CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA, USA.

- MCINTOSH, G., AKINTOYE, A. and FITZGERALD, E. (2000). A Survey of Supply Chain Collaboration and Management in the UK Construction Industry. *European Journal of Purchasing and Supply Management*. Special Issue.
- MOSES, S. (2012). Pull Planning and Pre-Fabrication at Scale [Diapositiva 41]. Lean Construction Institute. Consulta: 01 de abril del 2016. http://www.leanconstruction.org/media/docs/ktll-add-read/Prefabrication_and_Pull_Planning_at_Scale-Parkland_Hospital.pdf
- MOSSMAN, A. 2008. What is Lean Project Delivery? The Change Business Ltd. UK.
- MURGUÍA, D., BRIOSO, X., and PIMENTEL, A. (2016). “Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building.” In: Proc 24th Ann. Conf. Of the Int’l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, secct.2 pp. 43-52. Available at: www.iglc.net
- MURGUÍA, Danny. (2016). Material de enseñanza – Sesión 1 del curso Modelación de información para la Construcción [Diapositiva 11]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Consulta 28 de abril de 2016.
- NOUR, M. (2007). Manipulating IFC Sub Models in a Collaborative Teamwork Environment. ITC Digital Library.
- PERU TOP PUBLICATIONS S.A.C. (2015). "Perú: The Top 10'000 Companies 2015". Lima, Peru.
- RISCHMOLLER, L. Envisioning the Future: Built, Natural and Digital Environments. School of Construction Engineering. Faculty of Engineering, Universidad de Talca, Chile.
- SACKS, R., EASTMAN, C. M. and Lee, G. (2004). Parametric 3D Modeling in Building Construction with Examples from Precast Concrete. *Automation in Construction*, vol 13, Elsevier BV, UK, pp 291-312.
- SHEN, Z. and ISSA, R. R. (2010). Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates. *Papers in Construction Management*. Paper 4. University of Nebraska – Lincoln, USA.
- SULBARÁN, Dimas (2009). Medición de actitudes. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Humanidades y Educación. Consultado 13 de junio de 2016. <https://psicologiaexperimental.files.wordpress.com/2010/03/escalas-de-actitudes.pdf>
- VRIJHOEF, R., KOSKELA, L. (1999). Roles of Supply Chain Management in Construction. 7th Proceedings of International Group for Lean Construction. Berkeley. USA.