



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

“Análisis de la utilidad del Lean Construction y BIM para mejorar la futura gestión de proyectos de infraestructura hospitalaria, Caso: Mejoramiento de los servicios de salud en el establecimiento de salud de Chala, Distrito de Chala, Provincia de Caraveli, Región Arequipa”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado académico de Maestro en Dirección de la Construcción

AUTORES

Beltrán Toribio, Pedro Ángel (0000-0002-5888-0587)

Chávez Avila, Xennia Denisse (0000-0001-8346-8933)

Salazar Salvatierra, Elian Katuska (0000-0003-0198-5203)

Vera Zavala, Mirella Sofía (0000-0003-0869-4927)

ASESOR

Salinas Saavedra, José Roberto (0000-0001-7075-595X)

Lima, 13 de junio del 2020

DEDICATORIA

A mis padres, Flor Zavala y Ernesto Vera, que siempre me han apoyado incondicionalmente y me han alentado a lograr mis metas y buscar mi crecimiento y desarrollo profesional.

A mi novio Gino Franco, por su amor, apoyo y comprensión, por creer siempre en mí y darme la fuerza y confianza para seguir adelante.

Mirella Vera Zavala

A Don Pedro Beltrán y Doña Isabel Toribio, y a Mercedes ellos siempre han sido mi soporte ya que con su amor incondicional me han ayudado a alcanzar mis metas en la vida.

A Adriano, Mathías y Josué, como un ejemplo de que cuando nos trazamos una meta solo está en nosotros alcanzarla.

Pedro A. Beltrán Toribio

A mis padres y hermanas, por haberme dado el mejor obsequio en la trayectoria de mi existencia, una hermosa familia. Ellos, quienes siempre me motivaron a levantarme y continuar luchando para cumplir con mis ideales, todo lo que he logrado se lo debo a ellos.

A W. Rayf Tomás por su apoyo incondicional, que ha aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Xennia Denisse Chavez Avila

A mi familia por ser lo más valioso que tengo, en especial a mi madre Gladys Salvatierra, por ser mi inspiración para seguir avanzando en mis metas, gracias por tus palabras de aliento, por guiarme y enseñarme a ser una mejor persona y mejor profesional.

Elian K. Salazar Salvatierra.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios quien nos da la oportunidad de un nuevo día, acompañando, protegiendo y guiando nuestros pasos.

Un agradecimiento especial a nuestros padres y a nuestras familias, por el apoyo y soporte incondicional que siempre nos dan para emprender nuevos retos y seguir creciendo.

A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, en especial a la plana docente de la Maestría en Dirección de la Construcción, quienes se han tomado el arduo trabajo de transmitirnos sus diversos conocimientos en el transcurso de cada clase.

A nuestro asesor, el Mg. José Roberto Salinas Saavedra, por su invaluable ayuda y asesoramiento, la cual ha sido de gran importancia para la realización de esta tesis.

RESUMEN

La infraestructura hospitalaria compone uno de los principales bienes inmuebles, permitiendo la prestación de servicios de salud a la población, motivo por el cual se debería dar la importancia a sus procesos de planificación, construcción y mantenimiento, que garanticen su óptimo funcionamiento, por ello se debería emplear tecnologías y metodologías modernas para lograr mejores resultados tanto económico como técnico.

Dada la importancia y complejidad de las infraestructuras hospitalarias, debido a las diferentes especialidades, equipamiento y condiciones especiales, es imperativo el contraste y coordinación en forma simultánea para reducir riesgos y mejorar la eficiencia en el producto final, por ello, la presente tesis aportará un diagnóstico sobre la aplicación de herramientas como Lean Construction y BIM en la construcción de Hospitales, y en función a estas experiencias se planteará una metodología de trabajo desde la concepción del proyecto hasta la entrega de la obra, basado en las herramientas antes mencionadas con el objetivo de garantizar mejores rendimientos, ahorro y ganancias para el ejecutor de Obra Hospitalaria.

Con el caso en estudio, dirigido a proyectos de establecimientos de salud de segundo orden de atención nacional, se demuestra que los proyectos de construcción de inversión pública pueden mejorar su gestión pero es necesario intervenir en mejoras desde la etapa de pre-inversión, teniendo en cuenta que en la actualidad los Gobiernos Regionales y Locales aún utilizan metodologías tradicionales, por ello mediante este trabajo buscamos que el Estado Peruano incentive y promueva el empleo de estas herramientas, implementando normatividad o reglamentación que estandarice su utilización.

Palabras clave: Infraestructura hospitalaria; Lean Construction; BIM, gestión pública.

ABSTRACT

The hospital infrastructure makes up one of the main real estate assets, allowing the provision of health services to the population, which is why importance should be given to their planning, construction and maintenance processes, which guarantee their optimal operation, by implementing modern technologies and methodologies to achieve better results, both economically and technically.

Given the importance and complexity of hospital infrastructures, due to the different specialties, equipment and special conditions, simultaneous contrast and coordination is imperative to reduce risks and improve efficiency in the final product, therefore, this thesis will provide a diagnosis on the application of tools such as Lean Construction and BIM in the construction of Hospitals, and based on these experiences, a work methodology will be proposed from the conception of the project to the delivery of the work, based on the mentioned tools, with the aim of guaranteeing better yields, savings and profits for executor of Hospital Work.

The case study, aimed at health care projects of the second order of national attention, shows that public investment construction projects can improve their management but it is necessary to intervene in improvements from the pre-investment stage, taking into account that Currently, the Regional and Local Governments still use traditional methodologies, which is why through this work we seek that the Peruvian State encourages and promotes the use of these tools, implementing norms or regulations that standardize their use.

Keywords: Hospital infrastructure; Lean Construction; BIM, public management

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	1
1.1.1 Planteamiento del problema de investigación	1
1.1.2 Formulación del Problema	2
1.2 OBJETIVO GENERAL	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	3
1.5.1 Alcances	4
1.5.2 Limitaciones	4
1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	4
CAPÍTULO 2	6
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.1.1 Deficiencias en construcciones hospitalarias bajo un enfoque tradicional ...	6
2.1.2 Antecedentes internacionales	7
2.2 MARCO TEÓRICO	8
2.2.1 Lean Construction	8
2.2.2 Building Information Modeling (BIM)	14
2.2.3 Construcciones BIM y LEAN	27
2.2.4 Virtual Design and Construction (VDC)	29
2.2.5 Sistemas y tipos de contrataciones en el Perú	32
CAPÍTULO 3	39
MARCO REFERENCIAL Y DIAGNÓSTICO	39
3.1 MARCO REFERENCIAL	39
3.1.1 Gestión de Proyectos Hospitalarios	39
3.1.2 Hospitales Públicos en Perú	41
3.1.3 Fases de diseño de un Establecimiento de Salud	42

3.1.4	Gestión hospitalaria en la Región Arequipa	43
3.2	DIAGNÓSTICO.....	43
3.2.1	Diagnóstico de la Gestión del Proyectos de infraestructura	43
3.2.2	Diagnóstico del caso en Estudio.....	45
3.2.3	Diagrama de flujo del Proceso Tradicional de Ejecución de Obras Públicas.....	46
3.2.4	Problemáticas encontradas en el caso de estudio	50
CAPITULO 4.....		65
PROPUESTA DE VALOR.....		65
4.1	PROPUESTA EN LA FASE DE PRE-INVERSIÓN.....	66
4.1.1	Programación multianual	66
4.1.2	Mapeo de procesos en la Etapa de Pre-Inversión.....	72
4.2	PROPUESTA EN EL FASE DE INVERSIÓN	77
4.2.1	Requisitos mínimos para la elaboración de un plan de ejecución BIM....	77
4.2.2	Etapas de intervención	77
4.2.3	Objetivos BIM.....	78
4.2.4	Usos BIM	80
4.2.5	Entregables BIM.....	84
4.2.6	Recursos BIM.....	87
4.2.7	Mapeo de procesos incluyendo BIM en la Etapa de Inversión	95
4.2.8	Objetivos y Herramientas Lean propuestas.....	100
4.2.9	Programa de Capacitaciones para implementar Lean Construction.....	106
4.2.10	Programa de reuniones propuestas	107
4.3	DIAGRAMA DE FLUJO PROPUESTO PARA EL PROCESO DE EJECUCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS.....	108
4.4	COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	111
4.4.1	Costos de la implementación de una sala de sesiones ICE.....	113
4.4.2	Evaluación de Inversión	114
CAPITULO 5.....		117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		117
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA		121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto asignado frente al presupuesto real ejecutado para la partida Corte de material rocoso	52
Tabla 2. Presupuesto asignado frente al presupuesto real ejecutado para la partida Corte de material rocoso	56
Tabla 3. Presupuesto asignado para la partida de instalación de Aisladores sísmicos	57
Tabla 4. Cronograma de actividades del proceso de Instalación y Entrega de equipos	59
Tabla 5. Resumen de Incompatibilidades y sus impactos	60
Tabla 6. Fase de programación multianual del ciclo de inversión	67
Tabla 7. Fase de formulación y evaluación del ciclo de inversión.....	68
Tabla 8. Objetivos y requerimientos BIM	78
Tabla 9. Usos del BIM.....	81
Tabla 10. Detalle de modelo por especialidad.....	84
Tabla 11. Formato de entrega - Software	85
Tabla 12. Software propuesto por disciplina	92
Tabla 13. Características de hardware	93
Tabla 14. Características operativas del hardware	94
Tabla 15. Entradas y salidas procesos	96
Tabla 16. Objetivos y herramientas Lean Construction	100
Tabla 17. Programa de capacitaciones	107
Tabla 18. Programa de reuniones	107
Tabla 19. Características y costos de adquisición de software.....	112
Tabla 20. Costos y recursos para la implementación BIM.....	112
Tabla 21. Implementación sesiones ICE	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Involucrados de cada campo según Succar.....	15
Figura 2. Ciclo metodología BIM.	16
Figura 3. Modelo de Madurez BIM.....	16
Figura 4. Componentes de VDC en un marco integrado, Modelo Singapur.....	32
Figura 5. Proceso de obra pública tradicional del sector hospitalario con sistema de contratación de suma alzada.....	47
Figura 6. Proceso de incompatibilidades en obra pública tradicional por sistema de contratación de suma alzada.....	49
Figura 7. Plano Topográfico Contractual.....	52
Figura 8. Plano de distribución general – 1º nivel.....	53
Figura 9. Zonificación dada en el estudio de pre inversión del Proyecto – 1º Nivel.....	55
Figura 10. Planta general del proyecto – 1º nivel.....	55
Figura 11. Fases de proyectos públicos.....	65
Figura 12. Proceso de Licitación de obra.....	76
Figura 13. Organigrama para el contratista seleccionado.....	90
Figura 14. Organigrama general con interacciones.....	91
Figura 15. Proceso de planeamiento de ejecución BIM.....	99
Figura 16. Flujograma de Objetivos y herramientas Lean Construction.....	106
Figura 17. Diagrama de flujo Propuesto para el Proceso de Obras Públicas.....	109
Figura 18. Diagrama de flujo Propuesto para el Proceso de Revisión de Ingeniería.....	110

CAPITULO 1

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento y formulación del problema de investigación.

1.1.1 Planteamiento del problema de investigación

La infraestructura hospitalaria constituye uno de los principales bienes inmuebles de cada ciudad, lo cual permite mejorar la calidad de vida de su población, por ello se debe brindar la importancia respectiva a sus procesos de planificación, construcción, mejoramiento y mantenimiento. Debido a la trascendencia y complejidad de las infraestructuras hospitalarias, es imperativo el contraste y coordinación en forma simultánea para reducir riesgos y mejorar la eficiencia en el producto final.

Cabe indicar que en la actualidad esta actividad se da de manera convencional, con procesos tradicionales, con sistemas de contrataciones más usados como es el caso de suma alzada con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta, donde el contratista asume el alcance, las responsabilidades y la incidencia de las modificaciones, generándoles pérdidas por lo se origina reclamos y relaciones antagónicas, causando incumplimiento a las condiciones estipuladas en tiempo y costos, esto debido principalmente a las deficiencias en la gestión de proyectos y en la presencia de incompatibilidades en las diversas especialidades en las diferentes etapas del proyecto, principalmente en la etapa de diseño.

Estas deficiencias perjudican tanto en el incremento de costos de los proyectos hospitalarios, como en el tiempo de entrega de estos. Generando un incumplimiento en las metas programadas del sector salud para la atención a la población.

Al no solucionar la gestión actual, se seguirán incrementando las brechas de infraestructura hospitalaria, incumplimiento con la población en espera, insuficiente atención a la población referentes a su salud y sobrecostos debido a la mala gestión de proyectos de infraestructura hospitalaria, incluyendo penalidades para las empresas licitadoras.

1.1.2 Formulación del Problema

¿Cómo la gestión de proyectos de infraestructura hospitalaria con el enfoque Lean Construction y BIM influyen positivamente en el cumplimiento de plazos y costos de los proyectos hospitalarios por sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta?

1.2 Objetivo general

Analizar la utilidad del Lean Construction y BIM para mejorar la futura gestión de proyectos de infraestructura hospitalaria por sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta, Caso: Mejoramiento de los servicios de salud en el establecimiento de salud de Chala, Distrito de Chala, Provincia de Caravelí, Región Arequipa, el cual se diseñó y se construyó con el sistema tradicional.

1.3 Objetivos específicos

- Describir la gestión actual de los proyectos de infraestructura hospitalaria, específicamente en los establecimientos de salud de segundo orden de atención, bajo la modalidad del sistema tradicional de diseño y construcción por sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta.
- Identificar los factores críticos de la gestión tradicional del caso en estudio.
- Analizar el caso en estudio empleando la gestión del enfoque Lean Construction y BIM.

1.4 Justificación e importancia

Buscar mediante el análisis de este caso, sentar precedentes para que se busque incentivar y promover el empleo de diferentes enfoques de gestión modernos en los proyectos de inversión pública específicamente para proyectos por sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta, para que sirva como referente en proyectos futuros.

Nos permitirá contar con información actual que nos proporciona la gestión bajo diferentes enfoques asociados con herramientas vanguardistas que permitan visualizar,

costear y planificar durante el desarrollo del proyecto; desde los inicios hasta la culminación de obra. Esto permite que se reduzcan considerablemente los riesgos de pérdidas en plazo y costo, asegurando por otro lado desde un inicio la buena calidad de las instalaciones de los Centros Hospitalarios proyectados.

Será de gran ayuda utilizar las herramientas del BIM y Lean Construction, porque mediante su aplicación se generarán modelos virtuales, que permitirán mejorar la comunicación visual del producto, centralizando la información e incrementado la colaboración multidisciplinaria desde la etapa de conceptualización y diseño, además ayudarán a gestionar mejor los recursos, permitiendo anticiparse a contratiempos, y detectando interferencias e incompatibilidades, de esta manera permitirá tomar decisiones más acertadas en beneficio del plazo, costo del proyecto y satisfacción del cliente; esto de la mano de Lean Construction logrará minimizar al máximo los desperdicios, incrementar la productividad y mejorar la gestión de los riesgos.

La gestión con el enfoque Lean Construction y BIM, va a permitir que los proyectos de construcción de inversión pública mejoren su manejo y dirección desde la etapa de pre-inversión, en este caso dirigido a proyectos de Establecimientos de Salud de Segundo Orden de Atención a nivel nacional; teniendo en cuenta que en la actualidad los Gobiernos Regionales y Locales aún siguen utilizando metodologías tradicionales, presentado problemas de planificación y diseño que generan sobretiempos en la ejecución e impactan en los costos proyectados, los cuales finalmente representan problemas legales, debido a la aplicación de penalidades a las empresas licitadoras por incumplimiento ya que estas licitan por sistema de contratación de suma alzada.

La importancia de este proyecto de investigación, es contribuir a cumplir las metas programadas en el sector Salud para la atención a la población, así como reducir las brechas en infraestructura hospitalaria por sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta.

1.5 Alcances y limitaciones

El trabajo se basa en el caso de estudio: “Mejoramiento de los servicios de salud en el

establecimiento de salud de Chala, Distrito de Chala, Provincia de Caraveli, Región Arequipa”.

1.5.1 Alcances

- Aplica para proyecto de Inversión Pública desarrollados en el Estado Peruano específicamente para Establecimientos de Salud de Segundo Orden de Atención con sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta.

1.5.2 Limitaciones

- La información utilizada del caso de estudio está basada en documentación desarrollada y presentada al estado por la empresa contratista, la cual podría no ser 100% veraz.
- La información del caso es solo para Establecimientos de Salud de Segundo Orden de Atención con sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta.
- El estudio no contempla el modelamiento BIM de las especialidades del proyecto, por lo cual se realizará aproximaciones que logren demostrar los beneficios de este enfoque en la gestión de proyectos de infraestructura hospitalaria con sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de mano en llave y concurso oferta.

1.6 Metodología de la investigación

- El presente Trabajo de Investigación es del tipo descriptivo- Exploratorio, dado que aborda principalmente la aplicación de gestión del Lean Construction y BIM en proyectos hospitalarios, específicamente Establecimientos de Salud de Segundo Orden de Atención por sistema de contratación de suma alzada y con modalidad de contratación de mano en llave y concurso oferta sobre lo cual no se dispone de literatura o investigaciones similares en nuestro medio local, debido a que es un campo en desarrollo, que a su vez es cambiante a lo largo del tiempo, por lo tanto se introduce a las principales teorías sobre Lean Construction y BIM, de manera descriptiva; y se hace el análisis de casos de Hospitales del sector público, de manera cuantitativa, haciendo énfasis en las

causas y efectos de la utilidad de metodologías convencionales, en contraposición con el enfoque Lean Construction y BIM que contribuye a disminuir dichos efectos.

- La técnica a emplear será del tipo Documental, que nos permite la recolección de información de fuentes bibliográficas para enunciar las teorías que sustentan el presente trabajo. Incluye la utilidad de instrumentos definidos según la fuente documental a la que hacen referencia. En cuanto al análisis del caso, el empleo de fichas con la debida utilización de los datos podremos hacer cuadros que nos permitan identificar los principales problemas que se dan durante la construcción de un edificio hospitalario.
- Se utilizará y procesará la información proveniente de los expedientes técnicos y de liquidación de obra facilitados por el MINSA (Ministerio de Salud), el cual se pretende ordenar y clasificar obteniendo cuadros, esquemas y gráficas de fácil interpretación.
- Se procederá al análisis de la información correspondiente a los adicionales de obra encontrados en los expedientes de liquidación del caso en estudio. Esta información es agrupada de acuerdo a los objetivos del presente estudio.
- Elaboración de fichas genéricas, con información general del estudio de caso, mostrando nombres, plazos, montos según contratos y también la información proveniente de las liquidaciones de obra en donde se refiere al incremento de presupuestos, plazos y otros.
- Levantamiento de la información sobre problemática.
- Se realizará una confrontación de la gestión del proyecto de inversión pública tradicional con el enfoque de gestión de Lean Construction y BIM.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El sistema nacional de salud, cuenta con una infraestructura que no tiene la capacidad de atención para sus afiliados, en los diversos sistemas que lo conforman, el crecimiento poblacional, ha hecho que con el tiempo esta brecha de infraestructura se agrande cada vez más, generado un malestar general de la población.

Es en ese sentido que el Estado, a través del Ministerio de Salud (MINSA), emitiera la Directiva Administrativa N° 161-MINSA/OGPP V.01, para la elaboración del Plan Maestro de Inversión en Hospitales e Institutos.

Es dentro de este marco normativo que se realizan diagnósticos acerca de la capacidad resolutive de la infraestructura existente, a fin de dimensionar, diseñar y construir infraestructura con la capacidad necesaria para poder atender las necesidades de la población creciente.

2.1.1 Deficiencias en construcciones hospitalarias bajo un enfoque tradicional

Según Khanzode et. 2008, del desarrollo de proyectos con métodos tradicionales, se tienen las siguientes deficiencias que afectan al proyecto y su resultado final:

- Dificultad para identificar conflictos debido a la representación bidimensional de los objetos diseñados.
- Demoras en el proceso de construcción debido a los conflictos identificados recién en obra.
- Falta de confiabilidad en la fabricación de objetos fuera de obra debido a que su magnitud real recién se aprecia en obra.
- Re-trabajo para solucionar los conflictos no identificados durante la etapa de diseño y coordinación.
- Falta de mayor supervisión en campo para evitar conflictos entre contratistas y proveedores.
- Mayor carga administrativa debido a generación de Requests for Information (RFI's) y Órdenes de Cambio debido a la identificación de conflictos en obra, posterior a los presupuestos aprobados.

- Mentalidad de “instalar primero” de los subcontratistas, para evitar tener que mover sus instalaciones en caso de que se den conflictos posteriormente.
- Productividad global reducida para todos los involucrados en el proceso.

Según Manning y Messner, 2008, a partir del análisis de la aplicación de los proyectos hospitalarios, son cuellos de botella en la transmisión de información, falta de contenido paramétrico para productos de proveedores, poca familiaridad de los participantes con la metodología Lean Construction y BIM, o poca aptitud o experiencia para la aplicación de ésta, y una falta de entendimiento de las limitaciones y aptitudes de interoperabilidad. A estas dificultades, hemos de agregar la cultura organizacional propia de nuestra industria de la construcción, y su inercia, además del intensivo entrenamiento requerido y el costo de la transición de un software a otro, que gran cantidad de empresas del sector no puede o no se atreven a asumir.

2.1.2 Antecedentes internacionales

- En Chile y España se han logrado dar pasos importantes en la ejecución de proyectos hospitalarios más allá del uso de modelos durante sus fases de diseño y construcción, esto llevando el uso de modelos digitales enfatizando en el manejo de activos, donde se han implementado en los proyectos, además se puede medir de forma tangible el retorno de inversión y manejar indicadores de ejecución que son indispensables en la administración de facilidades hospitalarias.
- En Costa Rica y Panamá abren paso cada día a las metodologías de Lean Construction y BIM y están más presente en los proyectos de una forma estructurada o con flujos completos, encaminados más a una revolución cultural en el manejo de los procesos de diseño, construcción y operación, esto gracias al gran auge que tiene en el sector construcción, en la implementación de procesos que garanticen la mejora continua de los proyectos.
- Guzman, A. (2014), en su tesis: Aplicación de la filosofía Lean Construction en la Planificación, programación, ejecución y control de Proyectos. En donde se comprende herramientas del Sistema Last Planner permiten reducir la

variabilidad de obras, permitiendo un seguimiento constante de la planificación semanal que deriva del Lookahead Planning, donde el resultado que se obtiene es del 75% del cumplimiento de las actividades programadas, esto se obtuvo gracias al análisis de las causas de incumplimiento y las acciones correctivas. Además, se tuvo la Carta de Balance, en el que se detectó el mal dimensionamiento del vaciado de concreto y encofrado de las vigas. El porcentaje de trabajo de los trabajadores no contributivos era elevado sin agregar valor al producto final y generando sobre costos.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Lean Construction

A continuación, se detallará, los conceptos y teorías del Lean Construction.

2.2.1.1 Filosofía Lean

Es la filosofía de trabajo destinada a maximizar el valor del producto para el cliente mediante la minimización o eliminación del desperdicio. Se basa en el Sistema de Producción Toyota (TPS, por sus siglas en inglés) y fue desarrollada por Taiichi Ohno tras observar gran cantidad de pérdidas en el sistema de Producción en Masa de Henry Ford y no lograr adaptarse a las nuevas necesidades del mercado (Womack, Jones y Roos, 1990).

La filosofía Lean trabaja sobre los conceptos, estrategias y técnicas para el mejoramiento de las variables en los procesos de gestión, que llegan a convertirse en los factores críticos de éxito para los proyectos que se realizan, y así poder lograr la excelencia operacional (Heim y Comptom, 1992). En la actualidad, para que los proyectos logren un control y mejoramiento en sus niveles de productividad es necesario trabajar sobre los sistemas de producción, para luego profundizar en cada proceso, optimizando y mejorando el uso de los diferentes recursos (Correa, 2014).

2.2.1.2 Lean Construction

Es lo que se conoce como construcción sin pérdidas, es una nueva manera de aplicar la gestión de producción en la industria de la construcción, brindando principios y técnicas

para el desarrollo de proyectos de construcción (Rajadell y Sánchez, 2010), enfocándose en:

- a. Maximizar valor:** Valor es aquello que ayuda al cliente a lograr sus objetivos, lo define el cliente y lo genera el productor. Los objetivos del cliente son representados por el alcance del proyecto, pero si el alcance se ve distorsionado, no cubrirá las necesidades del cliente; entonces, se debe ayudar al cliente a identificar sus verdaderas necesidades. Sólo se logrará maximizar el valor al cliente cuando se logre identificar y satisfacer sus verdaderas necesidades, brindando las mejores características al producto entregado. Las actividades o alcances que no logren cubrir estas necesidades, serán las pérdidas o desperdicios (Fernández, 2015).

- b. Minimizar desperdicio:** Pérdida o desperdicio es todo aquello que genera costo pero que no suma a la producción como medio para cubrir las necesidades del cliente, por lo tanto, se debe eliminarlos o tratar de reducirlos. Se ha identificado 8 tipos de pérdidas en la producción, estos son: sobreproducción, esperas, transportes, sobre procesamiento, inventarios, movimientos, defectos y retrabajos. Esto significa ejecutar las operaciones de manera eficiente, es decir debe tener ser manejado con excelencia operacional, a través del manejo excelente de producción, colaboración, confiabilidad y transparencia del equipo de trabajo (Fernández, 2015).

La alta variabilidad en los proyectos de construcción es la principal causa de pérdidas de producción, de la interrupción de los flujos y de la baja confiabilidad de los planes. Por ello, el sistema de gestión de producción, bajo la filosofía Lean, se centra en establecer estrategias que permitan asegurar que lo ejecutado sea igual a lo que se planeó y en mitigar el impacto de la variabilidad para lograr que los flujos no paren. Establecer un flujo ininterrumpido de producción es la principal prioridad de la gestión de producción. Sin embargo, también se generan desperdicios por acumulación de inventarios, por capacidad desperdiciada de cuadrillas, etc. Entonces, en base a los principios de la física de producción debe enfocarse en establecer estrategias para lograr el balanceo de las estaciones de trabajo de la construcción para minimizar los desperdicios. El análisis y la optimización de la productividad dentro de los procesos,

que fue desarrollada en la producción como transformación, es la última etapa para lograr un sistema efectivo de producción (Ghio, 2001).

La gestión de producción Lean plantea que para lograr que un sistema de producción sea efectivo, se debe seguir los siguientes pasos o etapas (Alarcón y Pellicer, 2008):

- a. **Asegurar que los flujos no paren**, aún con flujos y procesos ineficientes. Un sistema de producción debe tener un flujo ininterrumpido como primer paso para ser un sistema efectivo. Para lograr que los flujos no paren, se tiene que realizar un análisis profundo de las actividades a realizar, con el objetivo de establecer las estrategias necesarias para su ejecución. Se debe considerar la elaboración de estrategias enfocadas al manejo de variabilidad (como combatir factores externos) y tener todos los requisitos listos antes de empezar las tareas.
- b. **Los flujos no paran y sean eficientes**, aún con procesos todavía ineficientes, para lograr que los flujos sean eficientes se deben analizar a detalle estos flujos e identificar donde se encuentran las restricciones o los llamados cuello de botella que paralizan la frecuencia, luego se debe buscar estrategias para aumentar la capacidad de estos Cuello de Botella e igualar la capacidad de las demás estaciones al Cuello de Botella, este proceso es repetitivo y continuo para lograr que los flujos sean ininterrumpidos.
- c. **Flujos no paran, y que sean flujos y procesos eficientes**, como tercer paso para lograr que el proceso sea eficientes, se debe optimizar el proceso con las herramientas que propone la filosofía Construction.

2.2.1.3 Principios Lean Construction

A continuación, se describe los 11 principios del Lean Construction basado en Koskela (1992):

- **Reducir actividades que no generan valor:** es según los requerimientos del cliente, es diferenciar las actividades que generan valor de las que no lo hacen y reducir lo que no genera valor.

- **Incrementar el valor:** a través de considerar siempre lo que requiere el cliente. Evaluar y considerarlas a lo largo de todas las etapas del proyecto. Maximizar el valor del producto.
- **Reducir variabilidad:** la variabilidad incrementa la cantidad de actividades que no generan valor. Para reducir esta variabilidad se debe planificar las actividades en un tiempo manejable, identificar recursos necesarios, actividades previas e información necesaria para cumplir con la programación del proyecto.
- **Reducir los tiempos del ciclo:** reducción de tiempos de ciclo de producto de la eficiencia del flujo y de los procesos productivos, facilitando la gestión de control, proceso productivo y entrega del producto.
- **Simplificar:** simplificar el proceso a través de la reducción del número de pasos del flujo de materiales e información.
- **Incrementar la flexibilidad de la producción:** la flexibilidad reduce los tiempos de ciclo y simplifica los sistemas de producción.
- **Implementar la gestión visual de los procesos:** permitirá que los trabajadores perciban el estado de los procesos y de las oportunidades de mejora
- **Control del todo el proceso:** consiste en evaluar y controlar todo el proceso de manera holística.
- **Mejora continua:** involucra a cada integrante de la organización, consiste en un control y evaluación constante de los niveles de excelencia operacional.
- **Balancear la mejora del flujo con la mejora de procesos:** para mejorar la productividad se debe mejorar los procesos y los flujos.
- **Benchmark:** se debe buscar las mejores prácticas existentes en el mercado

2.2.1.4 Herramientas Lean Construction

Se reconocen numerosas herramientas o técnicas prácticas desde su implantación, a través de las cuales se logra alcanzar los objetivos de Lean Construcción, donde la más importante es la siguiente:

Last Planner:

Es un sistema de planificación que utiliza ciertos métodos colaborativos para obtener un documento consensuado y con el compromiso de todo el equipo para llegar a cumplirlo. En la etapa de planeamiento se determinan las estrategias de gestión y ejecución del

proyecto, los recursos necesarios, las etapas y duración de las mismas, etc. El entregable principal es obtener un cronograma general macro del proyecto y las estrategias a utilizar en la etapa de ejecución. La programación es parte del planeamiento, pero es un plan de trabajo en mayor detalle. Se toman las acciones para que pueda ser ejecutado antes de la etapa de ejecución de cada actividad. Ello nos permite identificar las tareas a realizarse en el tiempo correspondiente para determinar si la cantidad de recursos disponibles y los trabajos previos son suficientes para la realización de los planes (Ballard y Howell, 2003).

El planeamiento es un análisis macro para tener una visión a largo plazo del proyecto, desarrollar el análisis de la tecnología a utilizar y las estrategias de ejecución del proyecto. Mientras que la programación es un análisis detallado que te da una visión a mediano y a corto plazo del proyecto. En un planeamiento macro, mientras más detallado sea este, la probabilidad que se ejecute es más baja. Por ello, se pretende planificar a mayor detalle, a medida que se aproxime el día en que se realizará el trabajo, en base al cronograma macro. Se busca generar un escudo entre el planeamiento y la ejecución del plan. Este escudo es el sistema “Last Planner” que ajusta “lo que se debe hacer” con “lo que se puede hacer” y que eso sea “lo que se va a hacer”. La participación colaborativa entre quienes realizarán los trabajos es esencial para que funcione el sistema Last Planner (Ballard y Howell, 2003).

Son pilares en conjunto, identificar y levantar las restricciones de las tareas planeadas como equipo, hacer promesas confiables y aprender de las interrupciones y errores. Para lograr que el sistema de producción sea exitoso, el sistema Last Planner se enfoca en cumplir los siguientes objetivos: proteger el plan, asegurar el flujo y mejorar continuamente (Ballard y Howell, 2003).

Para hacer posible el cumplimiento de los objetivos de proteger el plan, asegurar el flujo continuo y generar una mejora continua; el sistema del último planificador establece un ciclo continuo de programación en un mediano plazo, mediante herramientas específicas, como son, Lookahead, Análisis de Restricciones, Plan Semanal y/o Diario, Porcentaje de Plan Cumplido y Análisis de Causas de Incumplimiento (Ballard y Howell, 2003). Los cuales se describirán a continuación:

a. Lookahead

Cronograma de ejecución que se desprende del cronograma general o macro por hitos, nos permite ampliar o detallar el cronograma a una “vista intermedia”, en un mediano plazo y considerar todas las actividades que se necesita realizar, de manera que se logra proteger el plan. Para ello, se establece un horizonte de tiempo mínimo, que se define según la variabilidad del proyecto y por el tiempo que toma levantar las restricciones, normalmente se trabaja con 3 o 4 semanas.

b. Análisis de Restricciones

Se analiza cada actividad del lookahead y se identifican los obstáculos y limitaciones que dificultarían la ejecución de estas con adecuada anticipación para que puedan ser levantadas. Cada una de las restricciones identificadas debe ser asignada a un responsable encargado de hacerle seguimiento y de levantarlo en un plazo razonable definido. Aquellas actividades que no presentan restricciones, ya están listas para ser programadas e incluidas en los planes semanales o diarios correspondientes.

c. Plan Semanal o Diario

Se desliga y considera las actividades programadas en el lookahead para dicha semana y permite detallar aún más, llegando a nivel de plan diario, incluyendo las actividades contributivas representativas, como traslados de andamios, armado de microclimas, resane de estructuras, programación de vaciados, órdenes de compra, etc. En este nivel se consideran las actividades siempre y cuando se hayan levantado sus restricciones.

d. Porcentaje de Plan Completado (PPC)

Es un indicador de confiabilidad que indica qué tan bien se ha estado programando el proyecto. El objetivo es analizar la seguridad del sistema para establecer una mejora continua.

Se busca medir el nivel de confianza del sistema de programación, es decir, la precisión con la que podemos predecir lo que se hará en la semana. La finalidad no es medir el avance del proyecto, sino la efectividad de la programación. El

cálculo se realiza midiendo la relación entre las tareas completadas con respecto a las tareas programadas.

e. Análisis de las Causas de Incumplimiento (CI)

Del análisis de PPC, se identifican las causas o razones que no permitieron el cumplimiento de las actividades del plan programado (semanal o diario) y sus responsables, para proponer medidas correctivas. Aprender sistemáticamente de las experiencias que se estén obteniendo en el proyecto, con el fin de no cometer errores repetitivos y así generar un aprendizaje y una mejora continua.

2.2.2 Building Information Modeling (BIM)

A continuación, se detallará, los conceptos y teorías del Building Information Modeling (BIM).

2.2.2.1 Metodología BIM

Building Information Modeling (BIM) o modelado de información de la construcción, es una tecnología de la información utilizada en la industria de la construcción, en la arquitectura e ingeniería (AECO), que sirve para generar una representación digital, con las características físicas y funcionales de una instalación, que de la mano de un conjunto de políticas, procesos y tecnologías interactivas (Succar, 2009) que generan una metodología de trabajo que sirve para la gestión integral de proyectos de construcción durante todo su ciclo de vida, desde el diseño esencial del edificio o estructura, durante la construcción y hasta su entrega, por medio de modelos virtuales que brindan información y datos que se obtienen de forma digital, buscando eliminar retrabajos y desperdicios e incrementar la eficiencia en los rendimientos, la planificación y la ejecución; es una metodología que funciona mediante un proceso colaborativa entre los diferentes involucrados y que permite un conocimiento compartido y sirve además como base confiable para la toma de decisiones (Penttilä, 2006).

Succar (2009) considera importante el concepto de campos de aplicación que tiene el BIM, los cuales son: 1) Tecnología, que engloba a los especialistas que desarrollan software, hardware, equipamiento y sistemas de red, que son necesarios para una mejor

eficiencia, productividad y generación de valor en la industria de la construcción, 2) Proceso, que engloba al grupo de diseño, construcción, manufactura de materiales, uso, manejo y mantenimiento del proyecto de construcción y 3) Política, que engloba a los que preparan investigación, destruyen los resultados encontrados, identifican riesgos y minimizan conflictos con la industria. Estos tres campos tienen involucrados en cada campo y tienen traslapes entre ellos (Ver Figura 1)

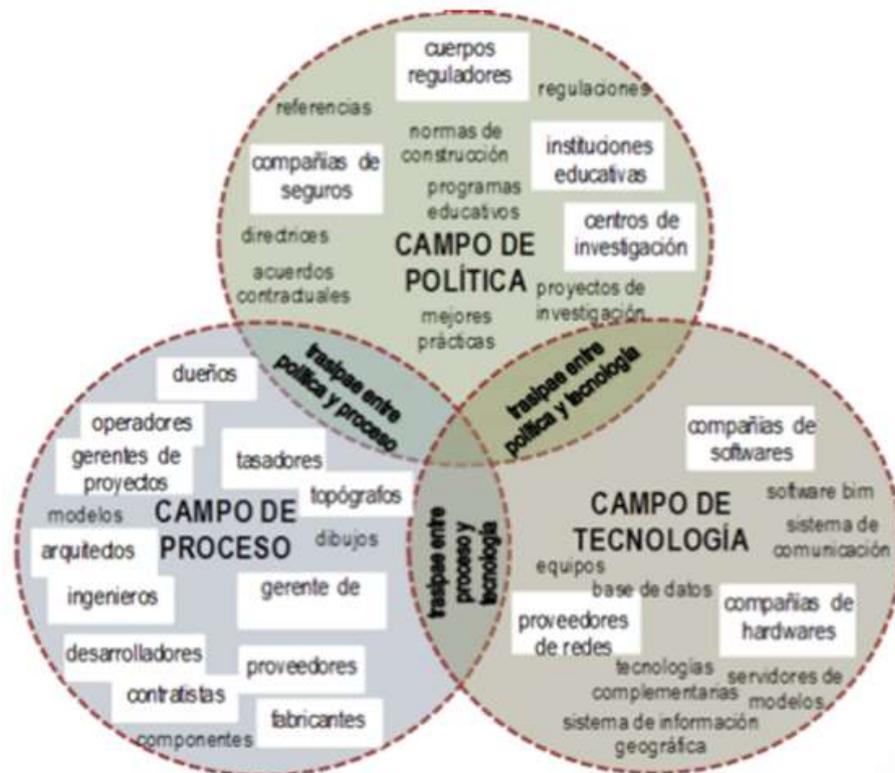


Figura 1. Involucrados de cada campo según Succar.
Fuente: Salinas (2014)

El BIM pretende ser un ciclo de vida, desde el diseño conceptual hasta la demolición de la estructura, BIM pretende formar parte de todo el ciclo de vida, desde el diseño conceptual hasta la demolición de la estructura, englobando todo este ciclo básicamente en las siguientes etapas principales: Diseño, Construcción, Aprovechamiento y Mantenimiento. Este ciclo puede ser completo o parcial dependiendo de la dimensión que se desee alcanzar en el modelo, y puede ser de 3 a 7 dimensiones, ver Figura 2 (Torroglosa, 2006).

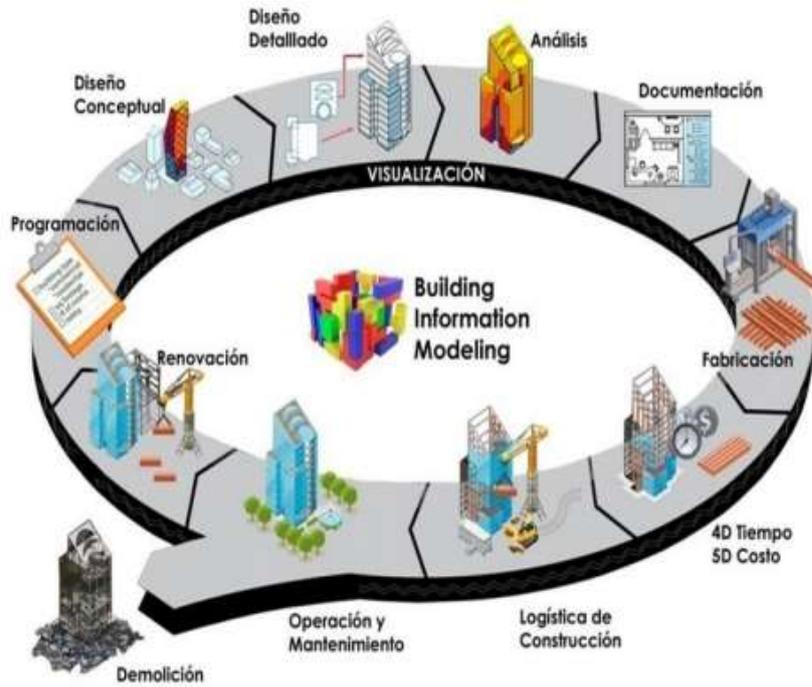


Figura 2. Figura 2. Ciclo metodología BIM.
Fuente: Torroglosa (2006)

2.2.2.2 Niveles de Madurez

El BIM hace referencia a un método de trabajo colaborativo, basándose en la generación e intercambio de datos entre las partes del proyecto. Dentro de este trabajo hay varios niveles de colaboración compartida, se conocen como niveles de madurez BIM, ver Figura 3 (Bew y Richards, 2008).

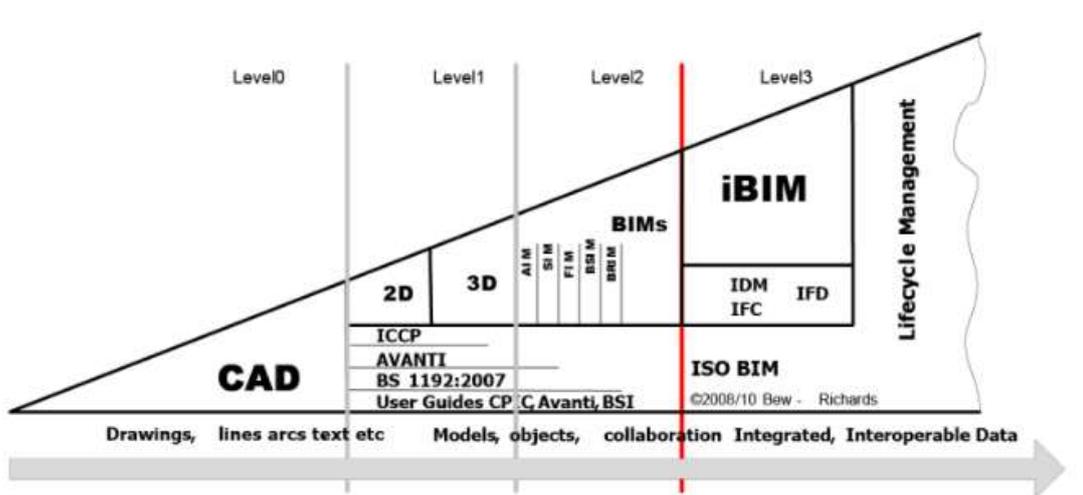


Figura 3. Modelo de Madurez BIM.
Fuente: Bew y Richards (2008)

A continuación, se detalla cada uno de estos niveles según Bew y Richards (2008):

- Nivel 0: Es donde todavía se emplea el CAD como sustituto de planos tradicionales en papel.
- Nivel 1: Empieza con la introducción de prácticas para la gestión de la producción, la distribución y la calidad de la información de construcción, incluyendo los generados por sistemas CAD, usando un proceso normalizado para la colaboración.
- Nivel 2: Esta la gestión con herramientas BIM de entornos 3D de distintas disciplinas del proyecto y los datos asociados.
- Nivel 3: La integración de los datos en servicios web que permitan la colaboración y la interoperabilidad.

2.2.2.3 Dimensiones del BIM

Las dimensiones BIM son la forma particular en la que diversos tipos de información son vinculados al modelo BIM. Estas dimensiones a mayor que sean hacen que se puedan entender de mejor manera el proyecto de construcción (*National Institute of Building Sciences*, 2017).

- **3D:** Este modelo involucra información de la ubicación, información geométrica y de materiales de los objetos modelados. Se realiza detección de interferencia, coordinación, fabricación y visualización, simulaciones, coordinaciones entre especialistas y detección de interferencias, revisiones visualización de estudios de campo y perfectibilidad basada en el modelo BIM (Building and Construction Authority, 2017).
- **4D:** Este modelo involucra análisis temporales o análisis basados en el tiempo, control y monitoreo de avance, simulaciones de procesos constructivos o de instalaciones, simulaciones de cronogramas por fases y validación visual para aprobaciones de pagos (Building and Construction Authority, 2017).
- **5D:** Involucra análisis de costos y recursos como planificación y estimaciones de costos, programación de gastos, planificación de recursos y otros, también está la ingeniería de valor y evaluación de escenarios y la obtención de cuantificaciones (metrados) para sustentar y analizar estimaciones de costos más detallados (Building and Construction Authority, 2017).

- **6D:** este modelo involucra información de operación y mantenimiento que es usada por parte del administrador del proyecto en la etapa final para realizar manuales de mantenimiento, especificaciones, garantías y otros, así mismo está el uso de modelo BIM para analizar el ciclo de vida del proyecto, manuales de operación y mantenimiento adjuntos al modelo BIM. (Building and Construction Authority, 2017).

2.2.2.4 Plan de ejecución BIM

El plan de ejecución BIM (BEP, por las siglas en inglés de BIM Execution Plan), es un documento que detalla la forma de implementación de BIM en todos los procesos del proyecto. Es esencial destacar que este plan debe ser desarrollado en las etapas tempranas de un proyecto, desde su conceptualización si fuese posible, y así irse actualizando con el desarrollo de la ingeniería detallada y el planeamiento, en conjunto con el avance y participación de todos los integrantes.

Para lograr un engranaje efectivo de BIM, es necesario que sea desarrollado de forma colaborativa por todos los involucrados, considerando la participación del promotor o cliente. Debiendo contemplar además de su alcance específico, sus objetivos y el flujo de procesos de las tareas contempladas, que definan los intercambios necesarios de información, para que puedan ser alineados y desarrollados en cada fase, además uno de sus propósitos es mostrar los beneficios y oportunidades buscadas.

Ese plan es único para cada proyecto, en base a sus condiciones y características propias y además puede ir variando y adaptándose conforme el proyecto está en curso (*National Institute of Building Sciences*, 2017). En el BEP (2013) se determina pasos a seguir para el desarrollo del plan, los cuales son:

1. Establecer los objetivos buscados para el proyecto y los usos BIM asociados:
Definir e identificar los usos BIM en cada fase del proyecto, siendo estas la planificación, diseño, construcción y operación del proyecto.
2. Descripción general de los procesos BIM y el procedimiento de la planificación:
Diseñar el proceso de ejecución BIM a través de mapas de proceso.

3. Diseño del proceso e intercambio de información BIM: Definir los entregables a forma de intercambios de información en cada fase.
4. Diseño del flujo de trabajo en el proceso y procedimientos de colaboración: Desarrollar la infraestructura en forma de contratos, procedimientos de comunicación, tecnología y control de calidad para apoyar la implementación y controlar el progreso.
5. Establecer roles y responsabilidades del equipo de proyecto.
6. Definir la estructura de soporte para la implementación del BIM: Descripción de los recursos necesarios para la implementación, sean físicos como tecnológico, así como las capacitaciones requeridas u otras competencias para implementar BIM según lo previsto.
7. Ejecución del procedimiento de implementación BIM: Se deberá mencionar estrategias y condiciones contractuales necesarias para garantizar que todos los participantes del proyecto cumplan con sus obligaciones.

2.2.2.5 Sesiones de ingeniería concurrente integrada

La ingeniería concurrente integrada o conocida como ICE (Integrated Concurrent Engineering) es un método social de trabajo, respaldado por la tecnológica, con el objeto de crear y evaluar múltiples opciones integrales de diseño de las diversas especialidades involucradas en el proyecto. Este método busca eliminar las desviaciones que no agregan valor al proyecto (Chachere, Kunz & Levitt, 2009).

2.2.2.6 Uso del BIM

Los usos de BIM conocidos de acuerdo a Azhar, Hein y Sketo (2008), son los siguientes:

- **Visualización:** pueden concebirse cómodamente representaciones 3D en casa con exiguo esfuerzo.
- **Planos para fabricación / adquisición:** es factible generar planos para compras para distintos métodos de construcción.
- **Gestión de subestructuras:** las dependencias de gestión de instalaciones pueden utilizar BIM para remodelaciones, planeamiento del espacio y mantenimiento de operaciones.

- **Estimación del costo:** los softwares BIM tienen funciones para valorar los costos de lo que se construirá. Las cantidades de material son mecánicamente extraídas y transformadas.
- **Secuencias de la construcción:** un patrón BIM puede ser empleado para establecer términos de entrada para los componentes del proyecto.
- **Detección de conflictos, interrupciones y encuentros:** BIM asiste en fiscalizar visualmente todas las obstrucciones, así para reducir premuras dentro del proyecto.

2.2.2.7 Integración de los procesos y personas

Para el éxito de la metodología BIM es fundamental el trabajo colaborativo, como se ha mencionado anteriormente, para lo cual es necesario establecer una adecuada plataforma de trabajo, que integre tanto los procesos definidos como a los integrantes. Siendo los proyectos Integrated Project Delivery (IPD) la etapa final para alcanzar esta integración buscada de todos los participantes, que busca principalmente un ganar – ganar durante todo el proyecto (Salinas & Ulloa, 2014).

IPD se define por la AIA (American Institute of Architects) como el enfoque de entrega de proyectos que integra personas, sistemas, negocios, estructuras y prácticas en un proceso que aprovecha de manera colaborativa los talentos e información de todos los participantes (proyectista, contratista, subcontratistas, clientes y demás interesados) para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el propietario, reducir el desperdicio y maximizar la eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción (AIA, 2007).

El IPD según Tillman (2014), está constituido para ofrecer un mayor valor a los proyectos en expectativas alineadas a los interesados mediante la coordinación integrada. Lo que permite desarrollar un mayor entendimiento común del proyecto, su propósito y trabajar hacia la generación de valor.

El IPD tiene 5 tipos de proceso de integración que deben estar en este tipo de proyectos (Fischer, 2014), los cuales son: 1) que exista integración entre la definición del alcance del cliente y el proceso de diseño, 2) el diseño debe pasar por un proceso de revisión

continuo de los clientes finales, para ser ajustado, 3) el diseño debe poseer constructabilidad, 4) es necesario considerar el conocimiento de la etapa de operación del proyecto y 5) el diseño tiene que ser sostenible (perdurable en el tiempo: social, económico y ambiental).

En estos contratos la estructura de gestión también es definida en el contrato y se busca dirigir a los equipos en busca del beneficio del proyecto, el IPD tiene principios (AIA, 2007) que se deben aplicar a los proyectos, estos buscan que el ambiente de trabajo sea colaborativo a fin de alcanzar los objetivos trazados, estos principios son:

- a.** Respeto mutuo y confianza: los integrantes del proyecto integrado comprenden el valor de la colaboración y se comprometen a trabajar en equipo para obtener mejores resultados, basando sus relaciones en la confianza y transparencia de todos los miembros.
- b.** Beneficio mutuo y recompensa: la participación temprana de todos los actores permite evitar reprocesos de diseño y construcción, favorece la constructibilidad y otros; se establece además el proceso de recompensas por los logros obtenidos.
- c.** Innovación colaborativa y toma de decisiones: a través de las ideas de los actores se estimula innovaciones.
- d.** Participación temprana de actores claves: Definir el equipo de proyecto necesario, que debe ser multidisciplinario y multifuncional es un componente clave para IPD, que permite tomar decisiones adecuadas desde el inicio del proyecto, apoyados en la diversidad que genera más conocimiento.
- e.** Definición temprana de los objetivos: los objetivos se definen de manera clara y conjunta por todos los interesados, desde las etapas iniciales del proyecto, lo que permite innovación, excelencia y una comprensión clara y común de los mismos.
- f.** Planificación intensiva: en la etapa de diseño se resuelven mayor cantidad de diferencias con sus ajustes, lo que conlleva a una eficiencia, menor costo de ajustes en la etapa de diseño que en la etapa de construcción.
- g.** Comunicación abierta: la comunicación entre todos los actores tiene que ser abierta, directa, honesta. No hay culpables, sino se identifica y soluciona problemas.

- h.** Tecnología apropiada: se utiliza las últimas tecnologías que son apropiadas para las necesidades del proyecto, se debe contar con un espacio funcional, físico y virtual de comunicación, donde se permita trabajar y tomar las decisiones a todo el equipo, contando con sistemas y redes digitales de colaboración establecidas en un ambiente seguro y único (big room), que deben permitir la interoperabilidad y el intercambio transparente de datos.
- i.** Organización y liderazgo: el liderazgo es del integrante con mayor conocimiento del proyecto, es dinámico ya que el líder va cambiando según cambie la especialidad. Los roles de los integrantes están bien definidos desde el inicio del proyecto. Además se debe proporcionar capacitación y guía permanente, que mejoren el nivel de coordinación, aclararen las tareas y las estrategias comunes, para mejorar el aprovechamiento de todos los conocimientos y habilidades de todos sus miembros.

2.2.2.8 Ventajas de la implementación BIM

Se describe las ventajas de implementar la metodología BIM, según Salazar (2017).

- **Entendimiento de la secuencia constructiva:** Con la metodología BIM, al realizar una pre-construcción virtual del proyecto, se puede tener una mayor planificación en la ejecución de la obra mediante el uso de modelos 4D, donde a los objetos en 3D del modelo se les vincula una dimensión adicional de tiempo que permite realizar un programa de actividades específicas y coherente con la realidad, donde se puede simular el proceso de construcción.
- **Manejo eficiente de la información:** Con BIM, la información del proyecto se maneja de manera centralizada y no dispersa, lo que evita tener varias versiones de un mismo proyecto, evitando así las incompatibilidades que esto genera.
- **Integración interdisciplinar del proyecto**
En BIM, el proyecto se puede diseñar, planear y ejecutar en un ambiente colaborativo, permite que todos los profesionales involucrados en las diferentes fases del proyecto pueden intercambiar información, hacer modificaciones y utilizar la información de otras áreas según sean los requisitos particulares.

- **Detección de interferencias:** El BIM, se puede realizar revisiones de interferencias de los elementos constructivos del proyecto, corrigiendo los problemas de diseño que se presentan entre planos y especificaciones técnicas durante el proceso de modelado y no en la etapa de construcción, ensayando en el modelo 3D las posibles soluciones para que puedan ser validadas técnicamente por los proyectistas y aprobadas finalmente por el cliente, la gerencia o ambos, según sea el caso.

- **Interoperabilidad:** El diseño y la ejecución de un proyecto constructivo deben ser desarrollados en equipo con profesionales de diversas especialidades, y por ende están involucradas diversas plataformas para su desarrollo. Esta metodología permite interfaces con otros productos específicos en donde se puede realizar la importación y exportación de las normas del proyecto, es decir, permite tener una interoperabilidad al trabajo con la extensión internacional IFC (Industry Foundation Classes) para la representación de información de edificios.

- **Parametrización de los elementos del modelo:** Los elementos que conforman el proyecto constructivo (muros, columnas, etc.), que antes se representa a través de unas dimensiones fijas, son determinados por parámetros modificables según las necesidades específicas del usuario, determinando no solo la geometría sino también las propiedades físicas del elemento. Esto permite información real de los elementos constructivos, y también realizar cambios dentro del modelo de una manera rápida y eficaz.

- **Bi-direccionalidad asociativa:** Se refiere a la gestión integrada y coherente de los cambios que se realizan en el proyecto durante el proceso de diseño. En los modelos hechos con BIM, las representaciones de sus diferentes elementos pueden automatizarse, y dado que todas las vistas provienen del mismo modelo, consiguen que estén siempre coordinadas entre sí y actualizadas en tiempo real.

- **Manejo de cantidades de obra y presupuestos:** En BIM se tiene un modelo basado en elementos que dependen de características específicas y parámetros reales, lo que permite una cuantificación exacta de todos los elementos necesarios para su ejecución, lo que permite que se evite las inconsistencias en el presupuesto.
- **Manejo de proveedores:** Debido a que los componentes se encuentran definidos en el modelo, se puede obtener un mejor resultado de los distintos proveedores frente a los detalles del diseño. Además, al conocer la cantidad, especificación y propiedades se puede programar los requerimientos a los contratistas, permitiendo que no haya falta de insumos o materiales que obstaculice la ejecución del proyecto.
- **Mejoras en la calidad final del proyecto**
Se consideraron los errores en la documentación final de la obra, al tener coordinadas todas las disciplinas involucradas del proyecto lo que asegura que todas las especificaciones técnicas y los problemas de calidad se cumplan sin tener alteraciones específicas con el proyecto original.
- **Ciclo de vida del edificio:** Esta metodología contempla el ciclo de vida desde las primeras fases de concepción de un proyecto constructivo, comienza en la fase de diseño, la construcción y también la explotación. Por lo que el BIM tiene un uso potencial en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto.
- **Manejo de marketing del proyecto:** Para cumplir con las metas de ventas satisfactorias del proyecto se tiene que tener en cuenta realizar las proyecciones y el retorno de la inversión, buscando cumplir con los plazos que se fijan, evitando así una variación en los tiempos de ejecución del proyecto, evitando así alteraciones posteriores en el tema presupuestal.

2.2.2.9 Desventajas de la implementación de BIM

Se describe las desventajas de implementar la metodología BIM (Adriaanse, Voordijk, & Dewulf, 2010).

- **Oposición al cambio:** Muchas veces por desconocimiento o por la comodidad o confort encontrado en lo conocido, en lo que ya se ha probado que funciona no creemos necesario el uso de herramientas innovadoras y al no haberlas experimentado juzgamos ligeramente su disfuncionalidad, lo que afecta obviamente la curva de aprendizaje de todo el equipo. Por lo tanto, creo que lo más caro no es la inversión en capacitaciones, software y hardware que la compañía o el proyecto deberá asumir, sino más bien el cambio de mentalidad. Si no conocemos no podemos saber sus beneficios y ventajas.

- **Carencia de Estándares:** En la industria de la construcción en nuestro país aún es difícil encontrar estándares de procesos de gestión de información. Dejando al criterio del dibujante, del diseñador sea de su empresa o del contratista. Por ello vemos la necesidad de desarrollar estándares que vayan en línea con las estrategias de la empresa, es decir que se adapten y que permitan ser auditadas y replicadas.

- **Falta de experiencia:** En nuestro país en general es difícil aun encontrar profesionales y empresas contratistas con gran experiencia y conocimiento en BIM, la falta de experiencia al comienzo genera una disminución en la efectividad del uso de la metodología y obviamente no se puede esperar que en el primer proyecto BIM todo salga a la perfección, como todo es un proceso de mejora y logrará aumentar la efectividad conforme avance su implementación. Por ello se recomienda capacitar a todo el equipo de trabajo del proyecto donde se implementará BIM ya que es una herramienta de colaboración multidisciplinar y como segunda recomendación debemos procurar que los primeros proyectos donde simplemente sean pequeños para disminuir los riesgos.

- **Difícil acceso al soporte técnico:** Las licencias de software se adquieren por medio de empresas distribuidoras de software y no con la casa desarrolladora del software, con lo cual se dificulta el soporte técnico.

- **Información incompleta entre plataformas BIM:** Un problema común en el desarrollo de proyectos usando varias plataformas BIM es conseguir que los

diferentes formatos de archivo funcionen correctamente al crear un modelo con información combinada del edificio, lo que en ocasiones genera inconsistencias en la información técnica que se extrae de dicho modelo.

2.2.2.10 Normativa Legislativas Peruanas respecto al BIM

En el Perú ya se ha desarrollado normativas para introducir el BIM en la infraestructura pública, a continuación, se detalla estas normativas

a. Resolución Ministerial N°242-2019/EF, aprobado el 19 de agosto del 2019.

“Lineamientos generales para el uso del BIM en proyectos de construcción”

El objetivo es establecer los lineamientos mínimos para la utilización del BIM en los proyectos de construcción, a fin de facilitar construcciones seguras y sostenibles. La finalidad es estandarizar la aplicación del BIM para el desarrollo de proyectos de construcción, a fin de optimizar su aplicación en el diseño y ejecución de la obra, propiciando el trabajo colaborativo y concurrente de las partes interesadas. Los presentes Lineamientos Generales son de aplicación por las entidades públicas, empresas públicas, privadas o personas naturales que opten por desarrollar un proyecto de construcción utilizando BIM.

b. Decreto supremo N°289-2019/EF, aprobado el 08 de setiembre del 2019.

“Aprueban disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública”

El objetivo Prioritario es la actualización progresiva de metodologías colaborativas de modelado digital de información para la construcción (BIM, por sus iniciales en inglés) por el sector público en el marco del Plan BIM, el cual contempla la hoja de ruta y las medidas para su implementación; la actualización de BIM por las entidades y empresas públicas mejorará la calidad, eficiencia y transparencia de la inversión pública, mejorando la rentabilidad social y asegurando la adecuada gestión de los activos generados con la ejecución de las inversiones así como la adecuada provisión de los servicios que se brindan a los ciudadanos.

Sin embargo, para que el uso de BIM se convierta en un mandato obligatorio en los procesos de inversión de todas las entidades y empresas públicas se requiere contar con una estrategia nacional de implementación progresiva que identifique las áreas estratégicas a ser desarrolladas o fortalecidas, establezca líneas de acción prioritarias y defina criterios para la aplicación de BIM a través de proyectos piloto.

Que, de acuerdo con esto resulta necesario establecer disposiciones para la integración progresiva de BIM en los procesos de inversión pública, así como para la elaboración e implementación del Plan BIM Perú que debe definir la estrategia nacional para la implementación progresiva de la adopción y uso de BIM.

2.2.3 Construcciones BIM y LEAN

Lincoln y Syed (2011), mencionan que las construcciones con BIM y LEAN están muy relacionadas. Es así que a continuación describiremos esa relación. BIM funciona como soporte y base para alcanzar muchas de las iniciativas LEAN tanto en el diseño como durante la construcción, sabiendo que como principio fundamental Lean es el eliminar o reducir las pérdidas, BIM trabaja en reducir y agilizar los procesos de diseño y luego durante la construcción.

La filosofía Lean se fundamenta en la creación de valor para el cliente, eliminando todo lo que no añade valor, optimizando el uso de recursos; mientras que la metodología BIM busca fomentar la colaboración entre todos los actores del proyecto (stakeholders), donde el marco Lean diseña la participación activa incluso desde la etapa de concepción del mismo, de este modo se busca una mejor toma de decisiones en tiempo real.

Se busca realizar revisiones de diseño multidisciplinarias, en el instante que este está siendo efectuado, para poder identificar cualquier problemática, interferencia o falta de información y tomar decisiones colectivas que beneficien a todo el equipo y que se realicen en todas las especialidades involucradas y de este modo evitar posteriores cambios que puedan afectar el plazo y costo del proyecto. La detección de interferencias de múltiples sistemas de instalaciones y estructuras es fácilmente detectada con BIM

permitiendo su compatibilización y evitando acciones correctivas posteriores que puedan ser costosas y menos eficientes, alcanzando así proyectos óptimos, funcionales y sostenibles. Las herramientas BIM no solo permiten la visualización del proyecto, sino además permiten extraer información que ayuda al planeamiento, al presupuesto, al control y monitoreo y a la gestión global del proyecto.

Otro concepto LEAN potencializado con el apoyo BIM, son las “salas Obeya”, que representan un método de gestión visual, cuyo origen viene del Toyota Production System (TPS) que es parte de Lean Manufacturing. Este método consiste en reuniones de equipos multifuncionales compuesta por un grupo de especialistas de las distintas áreas y especialidades del proyecto, cuyo objetivo es facilitar la comunicación y toma de decisiones de forma colaborativa, para lograr eliminar todas las restricciones. Esta forma de trabajar se apoya en soportes y elementos visuales y digitales que permiten que se comparta el conocimiento, se logre una visión global, y se resuelvan problemas de manera más ágil en todas las etapas del proyecto, desde el diseño y construcción, hasta lograr el funcionamiento.

Además, el procedimiento de sectorización y trenes de trabajo que es parte de la planificación propuesta por LEAN, se ve favorecida con la metodología BIM, obteniendo una simulación tridimensional que permite una mejor selección de secuencia constructiva con una visualización más activa, que adicional permite obtener metrados de forma automática.

BIM ofrece la plataforma digital para estas reuniones colaborativas, apoyando con las herramientas para el manejo visual, donde las propuestas de diseño y los resultados pueden ser visualizados de manera inmediata, facilitando la toma de decisiones y mejorando el diseño objetivo, pudiendo estimar los impactos en los costos rápidamente.

Estas reuniones nos ayudan adicionalmente a:

- Tener reuniones focalizadas, logrando reuniones más cortas y efectivas (reduce los desperdicios), que fomentan la transparencia.
- Crear un entorno que facilita la comunicación y el flujo de información entre todas las partes.

- Acelerar y agiliza la toma de decisiones y la coordinación colaborativa.
- Permite visualizar riesgos, ineficiencias e impedimentos de diseño y de construcción y reconocer áreas con potenciales riesgos en la seguridad.
- Obtener una visión global durante todo el desarrollo del proyecto.
- El uso de modelos BIM facilita la visualización de secuencias constructivas y la logística y manejo de recursos previos a la ejecución de obra.

2.2.4 Virtual Design and Construction (VDC)

La metodología del Diseño Virtual y Construcción o VDC por sus siglas en inglés (Virtual Design and Construction), desarrollado por el CIFE de la Universidad de Stanford en California, USA; que desde hace algunos años se viene imponiendo como la forma más adecuada de obtener mejores proyectos, en un tiempo y costo menor al previsto y con mayor calidad a lo esperado (Kunz y Fischer, 2011).

Corresponde a la gestión de modelos multidisciplinares integrados que permitan medir el desempeño del diseño y construcción de proyectos, incluyendo modelos de los productos (obras), las organizaciones y los procesos de trabajo, para lograr los objetivos del negocio. Los modelos virtuales pueden complementar, y a menudo, reemplazar modelos físicos, y se pueden construir mucho antes que el producto, organización o proceso emergente en la vida real (Kunz y Fischer, 2011).

El método VDC, como ya lo habíamos mencionado, toma en consideración tres elementos clave para lograr la multidisciplinaria integración dentro de un proyecto. Estas tres claves son producto, organización y proceso o POP. Mientras que BIM sienta las bases para capturar estos tres componentes (Chua y Yeoh, 2015) Con el surgimiento de la tecnología BIM, VDC adaptó la tecnología como un método para crear el modelo de producto y fue ampliamente utilizado.

Según (Kunz & Fischer, 2009) los modelos VDC representan un modelo para el producto, la organización y proceso donde el modelo del producto define diferentes elementos de los edificios, el modelo de organización define diferentes grupos dentro de la organización y el modelo de proceso representa los hitos y las actividades.

Las etapas de madurez de VDC según Kunz y Fischer (2009) definen tres etapas de madurez de VDC. La primera etapa es visualización donde los elementos del modelo POP se visualizan a diferentes partes interesadas, la segunda etapa es la integración, en esta etapa las relaciones entre elementos POP se definen de una manera que permita a la computadora realizar una actualización de valores dependientes en caso de que cambio de valores independientes además de realizar cambios paramétricos, referencias cruzadas y señalando cualquier elemento relacionado en varios modelos. La última etapa es la automatización, que es descrito como un soporte de etapa por parte de la computadora para elaborar el diseño detalles, verificación de consistencia, análisis, traslado y procesamiento de materiales como parte de prefabricación y montaje en la cara de trabajo.

VDC tiene cuatro componentes, un método de modelado de ingeniería que presenta el producto, organización y proceso, análisis basado en modelos para proyectos, método de visualización, negocios métricos y finalmente un análisis de impacto económico (Kunz & Fischer, 2009).

El VDC utiliza como herramienta fundamental y clave en el modelamiento virtual de la edificación o construcción conocido como BIM (Building Information Modeling), apoyándose no solo en los modelos, sino también en los datos generados por ellos y así lograr gestionar los procesos de producción PPM (Project Production Management), usando dos variables adicionales y enlazadas que son tiempo y costo. Esto permite una planificación y programación más precisa al poder modelar las secuencias de los procesos constructivos y discutir las alternativas de mejora de la productividad a partir del modelo, evaluar los impactos en el coste de cualquier alternativa en el diseño, etc. Sin embargo, el gran potencial de esta metodología dependerá del entorno colaborativo que se genere en el equipo del proyecto y de la calidad de profesionales que integren el equipo de proyecto; el VDC es un campo sin límites donde todo está condicionado favorablemente.

De este modo VDC ayuda a realizar un seguimiento minucioso de la información virtual y las métricas que se generan de ambos BIM y PPM y así permitir una mejor toma de decisiones, de forma ordenada y colaborativa en unas sesiones denominadas ICE

(Integrated Concurrent Engineering) que viene a ser el gran catalizador de esta metodología, que sirven como plataforma de colaboración con vistas a la mejora continua del proyecto con los aportes inclusive de los mismos usuarios finales.

En la parte técnica, la gran generación de datos, permite también un valiosísimo aporte para la evaluación de alternativas de diseño y correcciones oportunas ante proyecciones de desviaciones de las metas establecidas; permite además proyectarnos a aspectos que van más allá de lo relacionado netamente al proyecto, es decir, podemos incluir también evaluaciones de los impactos en costo y mantenimiento que pudiese tener la infraestructura en su fase de operaciones, lo cual es un avance importantísimo desde todo punto de vista.

De entre los principales beneficios de contar con todo el proceso constructivo en formato virtual destacan la notable mejora del trabajo colaborativo entre los diferentes agentes que intervienen en el proyecto, la disminución de tiempos y costes al poder reaccionar de manera más detallada ante los imprevistos y tener una toma de decisiones mucho más ágil. De manera consecuente, se podrá realizar una planificación mucho más óptima y se crean entornos de trabajo más seguros y eficientes.

Las bases teóricas del Virtual Design Construction (VDC)

- Métodos de modelado de ingeniería: producto, organización, proceso.
- Métodos de análisis: diseño basado en modelos, incluye cantidades, cronograma, coste, interacciones 4D y riesgos de procesos, que se denominan herramientas de modelado de información de construcción (BIM).
- Métodos de visualización.
- Métricas de negocios, dentro de los análisis de negocios y un enfoque en la gestión estratégica.
- Análisis de impacto económico, es decir tanto de los modelos, como del valor de las inversiones de capital.

En Singapur en su guía para la implementación de VDC establecida por la Autoridad de Construcción y Construcción (BCA). El documento de referencia tiene como objetivo establecer una comprensión común de las definiciones, componentes y principios de

VDC, para proporcionar un marco para la implementación de VDC en la construcción de proyectos o para la mejora organizacional y para cerrar algunas de las brechas clave en la entrega de proyectos para facilitar la transformación de la industria (BCA, 2017). En la Figura N°4 se ilustra los componentes de VDC en un marco integrado.

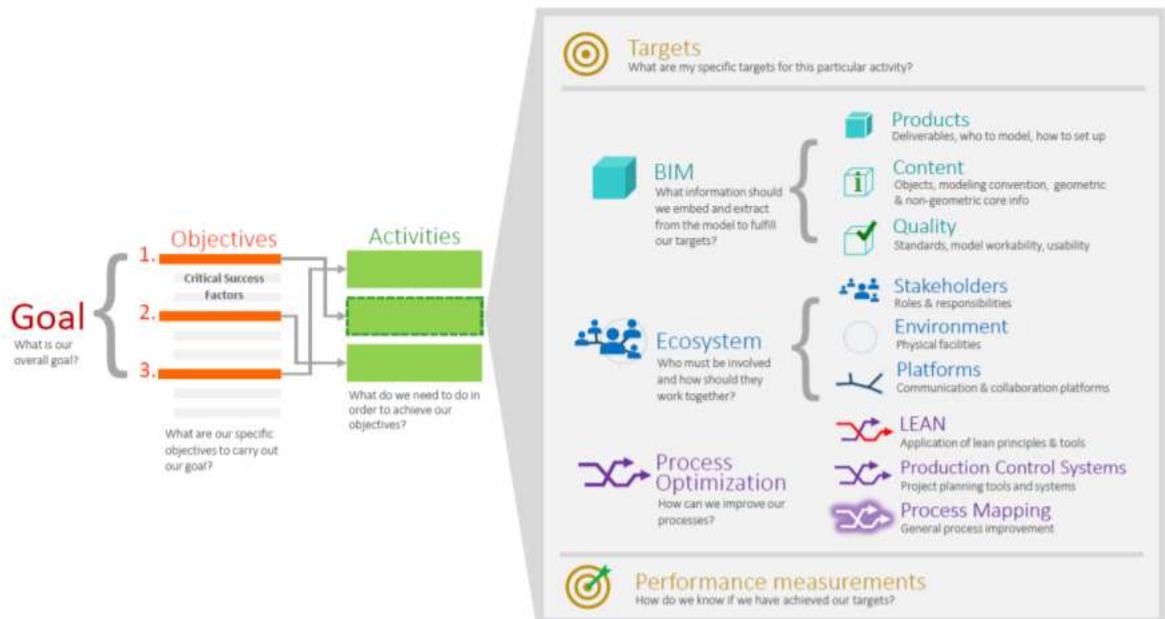


Figura 4. Componentes de VDC en un marco integrado, Modelo Singapur
Fuente: BCA, 2017

2.2.5 Sistemas y tipos de contrataciones en el Perú

Según la Ley de Contrataciones del estado y su reglamento (Decreto Legislativo N° 1017-2018-EF), se tiene sistemas de contrataciones y modalidades de ejecución contractual que se mencionarán a continuación:

a. Sistemas de contratación

i. A Suma alzada

Según la Ley de Contrataciones del estado y su reglamento (Decreto Legislativo N° 1017-2018-EF)

“Aplicable cuando las cantidades, magnitudes y calidades de la prestación estén definidas en las especificaciones técnicas, en los términos de referencia o, en caso de obras, en los planos, en las especificaciones técnicas, en la memoria descriptiva y presupuesto de obra, respectivas. El postor formula su oferta por

un monto fijo integral y por un determinado plazo de ejecución, para cumplir con el requerimiento”.

Para las obras el postor formula la oferta teniendo en cuenta el expediente técnico de la obra, dentro del cual están los planos, las especificaciones técnicas, la memoria descriptiva y presupuesto de obra, que determinarán los trabajos necesarios para el cumplimiento de la prestación. La oferta debe estar desagregado en las partidas que la sustenta, las cuales serán aplicada en la ejecución de la obra.

Para las consultorías de obras el postor formula la oferta teniendo en cuenta los términos de referencia y el valor referencial, que determinarán los trabajos necesarios para el cumplimiento de la prestación.

Dentro de las ventajas que se tiene según Smith (2002) son:

- Sistema de contrato bastante usado en el sector de la construcción, además de ser un contrato fácil de comprender.
- Tiene una aproximación muy cercana al monto final de la obra de parte del cliente, por lo que permite reducir la incertidumbre y el riesgo financiero.
- La administración del contrato es fácil si hay pocos cambios o variaciones de la obra.
- Es un proceso de licitación más competitivo entre los contratistas.
- Necesita poco recurso administrativo para el cliente.

Dentro de las desventajas que se tiene según Smith (2002) son:

- Tiene mínima flexibilidad a las variaciones, por lo cual no es conveniente adoptarlos para proyectos en los que habrá varios cambios o variaciones en el diseño.
- Los contratistas si han ofertado un monto muy bajo serán los que asuman gran parte de los riesgos, afrontando perdidas, que originan reclamos y relaciones antagónicas, que no permitirá un buen desarrollo del proyecto, hasta podría peligrar.

- El cliente casi no tendrá participación o influencia sobre la fase de construcción.

ii. Precios unitarios

Según la Ley de Contrataciones del estado y su reglamento (Decreto Legislativo N° 1017-2018-EF)

“Aplicable en las contrataciones de bienes, servicios en general, consultorías y obras, cuando no pueden conocerse con exactitud o precisión las cantidades o magnitudes requeridas”.

Para los bienes, servicios en general, consultorías, el postor formula su oferta proponiendo precios unitarios según la cantidad requeridas en los documentos de procedimientos de selección, que se valorizan debido a la ejecución real, en el plazo establecido.

Para las obras, el postor formula su oferta proponiendo precios unitarios según las partidas especificadas en los documentos de procedimientos, según las condiciones previstas en los planos, especificaciones técnicas y las cantidades referenciales, que se valorizan debido a su ejecución real, en el plazo establecido.

Dentro de las ventajas que se tiene según Smith (2002) son:

- Sistema de contrato es bastante usado en el sector de la construcción.
- Tiene un grado de flexibilidad para cambios en el diseño.
- Concede un cierto grado de traslape en las actividades de diseño y construcción.
- Es un proceso de licitación bastante competitivo.

Dentro de las desventajas que se tiene según Smith (2002) son:

- Se desarrollan relaciones adversas ya que la resolución de reclamos y disputa es muy difícil.

- Hay un poco de limitación en cuanto a la flexibilidad para cambio o inclusión de nuevos trabajos, pues se complica en establecer los precios para las nuevas partidas que no están incluidas en el contrato.
- El cliente casi no tendrá participación o influencia sobre la fase de desarrollo del proyecto
- El precio final del trabajo se determina a la conclusión de este, especialmente cuando se han realizado varios cambios.

iii. Esquema mixto de suma alzada y precios unitarios

Según la Ley de Contrataciones del estado y su reglamento (Decreto Legislativo N° 1017-2018-EF)

“Al que podrán optar las entidades si en el expediente técnico uno o varios componentes técnicos corresponden a magnitudes y cantidades no definidas con precisión, los que podrán ser contratados bajo el sistema de precios unitarios, en tanto, los componentes cuyas cantidades y magnitudes estén totalmente definidas en el expediente técnico, serán contratados bajo el sistema de suma alzada”.

b. Modalidades de ejecución contractual

i. Mano en llave

Según la Ley de Contrataciones del estado y su reglamento (Decreto Legislativo N° 1017-2018-EF) es:

“El postor oferta en conjunto la construcción, equipamiento y montaje hasta la puesta en servicio de determinada obra y de ser el caso el Expediente Técnico. En caso de adquisición de bienes también se oferta, además de éstos, su instalación y puesta en funcionamiento.”

Las prestaciones que involucran el objeto de contratación constituyen un todo, por lo que no corresponderá que los postores presenten una garantía por prestaciones accesorias.

La modalidad de ejecución contractual de Llave en Mano, el contratista debe considerar no solo su obligación de entregar el bien, sino también su instalación y puesta en funcionamiento; por lo que el contratista debe abastecerse con la debida anticipación de todos los equipos y materiales o elementos necesarios que se requiera para el cumplimiento íntegro de la prestación a su cargo.

ii. Concurso oferta

Según la Ley de Contrataciones del estado y su reglamento (Decreto Legislativo N° 1017-2018-EF) es:

“Si el postor debe ofertar la elaboración del Expediente Técnico, ejecución de la obra y, de ser el caso el terreno. Esta modalidad solo podrá aplicarse en la ejecución de obras que se convoquen bajo e sistema de suma alzada y siempre que el valor referencial corresponda a una Licitación Pública. Para la ejecución de la obra es requisito previo la prestación y aprobación del Expediente Técnico por el integro de la obra”.

c. Los contratos NEC (New Engineering and Construction Contracts)

Los contratos NEC son contratos estándares de construcción, Rodríguez (2006) ha señalado que: *“Los modelos contractuales estandarizados se presentan, asimismo como un uso de comercio en el ámbito de la ingeniería y construcción, pues se trata de uno de los sectores de la industria en que más se ha desarrollado la elaboración de contratos modelo. Este proceso mediante el cual se utilizan los contratos modelo elaborados por diferentes instituciones de reconocida reputación en el ámbito internacional se ha contemplado con un proceso de interpretación de sistemas que de esos contratos ha seguido la jurisprudencia arbitral y en especial la proveniente de instituciones como la Cámara de Comercio Internacional y la Corte de Arbitramento Internacional de Londres. De manera tal que la practicas internacional referida al uso de eso modelos se encuentra plenamente reforzada por los diferentes pronunciamientos que se han hecho vía interpretación de los referidos modelos, todo lo cual genera una mayor certeza respecto a la interpretación de un referido termino contractual utilizado por las partes.”*

Es así que en la industria de la construcción se ha desarrollado varios tipos de modelos de contratos internacionales, con el fin de simplificar el cierre de las operaciones en dicho mercado. Estos modelos de contrato reducen significativamente el tiempo de negociación, esto debido a que las partes no deben ponerse de acuerdo sobre el contenido de cada una de las cláusulas del contrato, sino solo completar o modificar las partes pertinentes del modelo, según el proyecto específico (Medina, 2019).

Los contratos NEC han ido ganando terreno tanto en Reino Unido como en diferentes países del mundo, a tal punto que ya no solo es un contrato del sector privado sino en algunos países se ha vuelto obligatorio por el gobierno, como es el caso de Hong Kong (Medina, 2019).

Las principales características de este tipo de contratos según Medina (2019) son:

- **Simplicidad de lengua:** este tipo de contratos presentan una redacción breve, directa y de lenguaje sencillo, trata de evitar las referencias cruzadas, a efectos de que su lectura sea fluida. Están redactados con oraciones cortas, de forma tal que los administradores y ejecutores del contrato sepan en todo momento como conducirse, sin que los abogados deban aplicar complejas figuras jurídicas.
- **Espíritu colaborativo:** promueven el espíritu colaborativo entre las partes que intervienen en el contrato. Durante la ejecución de estos contratos, se espera que las partes compartan la información del proyecto, a fin de advertir cualquier riesgo o contingencia que pueda surgir, de esta forma se pueda prevenir o mitigar dichos riesgos.
- **Correcta gestión del proyecto:** los contratos NEC son instrumentos de gestión, que se encuentran orientadas a promover la toma de decisiones de forma ágil y sencilla, esto no debe afectar la ejecución de la obra. En este tipo de contratos los tiempos de ejecución no son rígidos como ocurre en nuestra norma nacional, sino es una herramienta de gestión que se debe ir actualizando constantemente conforme a las vicisitudes del proyecto para reflejar su realidad y alinear las obligaciones de las partes.

Este tipo de contrato especial fue utilizado en los Juegos Panamericanos, fueron utilizados para la ejecución de las principales obras de infraestructura de los Juegos como fueron la Villa Deportiva Nacional – Videna, la Villa Panamericana, el Complejo Deportivo Andrés Avelino Cáceres - Villa María del Triunfo, el Polideportivo de Gimnasia, la Villa Deportiva Regional del Callo y el Estadio de San Marcos. Cabe indicar que, específicamente, el contrato que se utilizó para la ejecución de las obras mencionada fue el Contrato NEC3 ECC, Opción F, que es un contrato de ingeniería y construcción bajo la modalidad del contratista administrador (Medina, 2019).

En este tipo de contratos el contratista no es el ejecutor de la obra sino es el administrador de las obras, encargado de gestionar los subcontratos. En esta modalidad de contrato se espera que el contratista tenga la experiencia de administrar el proyecto y de concentrarse en la selección, gestión y supervisión de los diferentes subcontratistas que se encargaran de ejecutar la obra. Sin embargo, el contratista administrador podría ejecutar determinados trabajos, esto si es que demuestra que con ello obtiene un mayor valor por dinero, siendo más eficiente que subcontratar dichos trabajos (Medina, 2019).

CAPÍTULO 3

MARCO REFERENCIAL Y DIAGNÓSTICO

3.1 Marco referencial

3.1.1 Gestión de Proyectos Hospitalarios

La Dirección de Infraestructura es un órgano de línea de la Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento (DGIEM) del Ministerio de Salud y está encargada de desarrollar acciones de Asesoramiento en la Organización y Catastro de las Dependencias Públicas del Sector Salud y tiene, entre sus funciones, elaborar normas técnicas y formular estudios de pre – inversión sobre Infraestructura hospitalaria. Su estructura organizacional está conformada por dos unidades: La Unidad Funcional de Estudios y la Unidad Funcional de Obras.

Según el Ministerio de Salud, el equipo de trabajo de esta Dirección se dedica a evaluar los expedientes técnicos de los Proyectos de Inversión Públicos declarados viables, correspondientes a la Unidad Ejecutora 01 (Sede Central). También brinda toda la asistencia técnica para la evaluación de los análisis de salud a nivel nacional, y para ello se elabora un informe técnico, que permite conocer la situación real de los problemas que aquejan a los riesgos de salud, advirtiendo los riesgos y formulando recomendaciones que requieren dar solución a dichos problemas.

La Dirección de Infraestructura, en los últimos años, ha desarrollado la construcción de los siguientes establecimientos de salud: En Lima, el Nuevo Instituto Nacional de Salud del Niño; En Ica, el Hospital Regional de Ica y el Hospital Santa María del Socorro; y, En Pisco, el Hospital San Juan de Dios de Pisco.

El sector salud presenta dificultades en lo que respecta a infraestructura hospitalaria, entre ellas resalta el mal estado de las infraestructuras y los equipos, la irregularidad del suministro y de la calidad de los medicamentos, las deficiencias en la gestión, la deficiente capacidad y formación del personal y la grave escasez de recursos financieros.

De la construcción de los hospitales del Ministerio de Salud, la mitad tiene una antigüedad entre 26 a 50 años, la cuarta parte entre 10 a 25 años, un 19% son más de 50 años hasta 100 años, existiendo hospitales con más de 100 años que representa el 4% como por ejemplo el Instituto Especializado de Enfermedades Neurológicas Oscar Trelles con 305 años de antigüedad, el hospital el Carmen de Huancayo con 157 años, La Merced de Chiclayo con 139 años y el Hospital Dos de Mayo con 130 años; y un 2% de hospitales con menos de 10 años.

El tema de infraestructura hospitalaria es básico para proveer frecuentemente servicios de salud a la población. En la infraestructura de salud, la mejora, tiene efectos esenciales no solo en el crecimiento económico a través de distintos canales, sino que una mayor inversión en el sector de construcción y equipamiento de hospitales, postas médicas y ambulancias, tiene efectos positivos en la cobertura y en la calidad de salud de la población.

Para el éxito de un Proyecto de Inversión Pública en gestión de infraestructura hospitalaria, es crucial que el planeamiento de un establecimiento de salud tenga una correcta evaluación de la problemática médica existente, se consideraran algunos puntos de vista para el entendimiento de los factores detrás del éxito o fracaso de un Proyecto, los principales son:

- Un estudio exhaustivo de la situación de salud y el perfil epidemiológico de la población objetivo como base para la proyección de la demanda.
- Planeamiento dentro del contexto de la red médica existente y los sistemas de referencia en funcionamiento.
- Instalación de la capacidad física y funcional para proveer los servicios de salud de calidad que demande la población objetivo, según especialidad y nivel de complejidad.
- Evaluar la infraestructura incluyendo el terreno disponible (con saneamiento físico legal o en proceso) tomando en cuenta los riesgos y vulnerabilidades, las características técnicas para su construcción, y la factibilidad de los servicios básicos.

- En el sector salud, en el proyecto de un hospital o de una micro red, la capacidad gerencial se analiza respecto de los resultados de gestión (planificación, administración, supervisión y evaluación) de los recursos asignados: personal, recursos físicos y recursos financieros con objetivos previstos.

En los últimos años en los casos de inversión pública en el sector salud según un estudio realizado por la Asociación Nacional Invierte Perú (ANIP), se encontró errores. Este estudio evaluó proyectos del periodo de los años 2010 al 2014, donde los proyectos todavía tenían el sistema SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública). De este estudio se puede decir que:

- Referente a los errores de costo el 1.91% de los 734 proyectos se han ejecutado con el monto indicado en su fase de viabilidad, 59.13% con un monto menor al indicado en su fase de viabilidad (28.86% menos en promedio) y el 38.96% restante con un monto mayor al indicado (de 28.59% más de recursos, hasta 200% más respecto al monto establecido).
- Referente a los errores de tiempo el 1.09% se ejecutaron en plazos previsto en su fase de viabilidad, 50.27% en un plazo menor al previsto y al 48.64% restante se han ejecutado en un plazo mucho mayor a lo previsto, teniendo casos que son mayores desde de 100% hasta casos extremos de variación de 9000%.
- Referente a los errores de alcance el 4.36% no cumplieron con los objetivos que el proyecto demandaba y el 95.64% de los proyectos han cumplido con éxito con los objetivos que se demandaba del proyecto.

3.1.2 Hospitales Públicos en Perú

El sistema de salud del país está diferenciado en tres niveles de atención en el primer nivel de atención se encuentran los establecimientos categorizados como I-1, I-2, I-3 y I-4, que corresponden al MINSA son puestos y centros de salud, en el segundo nivel de atención las categorías II-1 que corresponden a hospitales locales de baja complejidad y II-2 que corresponden a hospitales de mediana complejidad, y en el tercer nivel las categorías III-1 referente a hospitales mayormente nacionales de alta complejidad, y III-2 correspondiente a los institutos especializados.

La Norma Técnica de Salud NTS N°110-MINSA/DGIEM-V01 “Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de Salud del Segundo Nivel de Atención, establece criterios técnicos mínimos de diseño y dimensionamiento de la infraestructura física de los establecimientos de salud de segundo nivel de atención. Las disposiciones contenidas en la presente Norma Técnica de Salud son de aplicación obligatoria en todos los establecimientos de salud públicos (Ministerio de Salud, Sanidad de las Fuerzas Armadas, Sanidad de la Policía Nacional del Perú), privados y mixtos del segundo nivel de atención del Sector Salud.

El segundo nivel de atención, es la puerta de entrada de la población al sistema de salud, en donde se desarrollan principalmente actividades de promoción de la salud, prevención de riesgos y control de daños a la salud, diagnóstico precoz y tratamiento oportuno, teniendo como eje de intervención las necesidades de salud más frecuentes de la persona, familia y comunidad. El grado de severidad y magnitud de los problemas de salud en este nivel, plantea la atención con una oferta de gran tamaño, y de baja complejidad; además se constituye en el facilitador y coordinador del flujo del usuario dentro del sistema.

3.1.3 Fases de diseño de un Establecimiento de Salud

Durante la etapa de desarrollo de Proyectos de establecimientos de Salud, es indispensable establecer la demanda de la población a atender, la cual la máxima Autoridad en Salud, tiene a su cargo solicitar a las Entidades Responsables la Implementación de un establecimiento de Salud, el cual satisfaga las necesidades de la población Inmediata.

El Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe) establece un ciclo de cuatro fases para la inversión pública en salud:

- Programación Multianual
- Formulación y evaluación
- Ejecución
- Funcionamiento

3.1.4 Gestión hospitalaria en la Región Arequipa

Entre mayo del 2012 y julio del 2013, se priorizaron como estratégicos 25 establecimientos de salud en Arequipa, listados en la RM No 632-2012-MINSA, de julio del 2012. Entre julio del 2013 y enero del 2017, el MINSA y el Gobierno Regional de Arequipa desarrollaron la fase de formulación y evaluación para los centros de Chala, Camaná, Cotahuasi, Maritza Campos Díaz (MCD) y Alto Inclán. El período hasta la aprobación de los estudios de preinversión y la declaratoria de viabilidad de cada uno de los cinco proyectos superó largamente los seis meses previstos por el MINSA, alcanzando incluso 2 o más años en 4 de ellos.

El Hospital de Chala está considerado dentro de la Categoría II-E, de acuerdo a lo establecido en el PAMA y acondicionado en la NTS N°110-MINSA/DGIEM V.01, este Hospital va ser considerado como Hospital de Referencia, es decir, que la atención de emergencias ocurridas en la provincia de Caraveli, van a ser referidas a este nosocomio.

En la fase de ejecución, la elaboración de los expedientes técnicos de Chala, Camaná y Cotahuasi terminó a fines del 2016, y su construcción y equipamiento se han extendido hasta el presente quedando por culminar, además de su recepción en conformidad, la dotación del recurso humano para el inicio de su funcionamiento. Los expedientes técnicos para MCD y Alto Inclán fueron aprobados en diciembre del 2017 y enero del 2018 respectivamente y sus correspondientes contratos de obra fueron suscritos en setiembre y diciembre del 2018, ambos con un plazo de 18 meses.

Según registros de ejecución, la inversión total de los cinco hospitales asciende a 406.6 millones de soles, es decir, 18 % más del monto aprobado en la formulación (344.8 millones de soles). El hospital MCD es el más grande, con 98 camas hospitalarias y un monto de inversión de 145 millones de soles.

3.2 Diagnóstico

3.2.1 Diagnóstico de la Gestión del Proyectos de infraestructura

La infraestructura hospitalaria establece un desafío en la construcción de estas para mantener sus estándares, estar dentro del plazo establecido y por sobre todo cumplir con los costos establecido inicialmente.

Los proyectos se aproximan con la metodología tradicional tanto en su fase de diseño y presupuesto como en la de seguimiento y control. Para llevar a cabo los proyectos por medio de esta metodología se comienza por la etapa software que utiliza habitualmente se hacen en dos dimensiones (2D) como herramienta de dibujo, de tal manera que cada profesional involucrado en el proyecto hace su diseño de manera aislada y a partir de un esquema inicial. Seguido, se especifica cantidades de obra y material por medio de cálculos manuales y aproximados a partir de los diseños. En cuanto a seguimiento y control en el mejor de los casos se lleva un cabo con la ayuda de herramientas como gráfico de barras de Gantt, Programa de Evaluación y Revisión Técnica (PERT) y el Método de la Ruta Crítica (CPM). Además, estos métodos han buscado ser más efectivos a través de herramientas de software pero los resultados en los proyectos de construcción no son los esperados porque presentan sobrecostos y pérdida de tiempo.

Es así que a continuación se describe el diagnóstico para las diferentes etapas de infraestructura hospitalaria:

a. Diseño y planificación de los proyectos

Esta es la etapa en la que, en los proyectos de infraestructura, se desarrollan los diseños de ingeniería, construcción y arquitectura, así como también se establecen las especificaciones técnicas del proyecto y sus términos de referencia para posteriormente presupuestar y planificar, definiendo así la metodología de los trabajos, la programación de actividades, los proveedores, la maquinaria y equipos a utilizar etc. (Martínez, González y Da Fonseca., 2009).

De esta manera, el enfoque tradicional de desarrollar los proyectos ha traído consigo la persistencia de errores y problemas que desencadenan en sobrecostos y pérdidas de tiempo no solo en la etapa de diseño y planificación sino también en las etapas de construcción y operación; algunos de estos se enuncian a continuación:

- Cuando el alcance del proyecto no es evaluado desde el principio ni es claro, se presentan deficiencias en diseños de diferentes disciplinas, por ende, la

cuantificación de los materiales y mano de obra no será la adecuado y por consecuencia resultará en sobrecostos.

- Cuando la complejidad de los entregables es significativa, no es posible evaluar varias opciones de diseños, lo que aumenta la posibilidad de cometer errores en cuanto a la planificación de actividades, determinación de materiales y cuantificación de mano de obra y recursos.
- Lo anterior tiene como consecuencia re-procesos que en muchos casos se desarrollado tardíamente en etapas posteriores asiendo así que el proyecto y sus procesos tomen tiempos que no pueden ser simultáneos, por tanto, no existe una integración.

b. Etapa de construcción de los proyectos

En esta etapa se realiza la materialización física del proyecto con todos los recursos como mano de obra, maquinaria, materiales y con toda la información de entrada necesaria para llevar a cabo el proyecto como diseños, especificaciones técnicas y planes de gestión los cuales deben ser confiables y de estricto cumplimiento. (Martinez et al., 2009)

Los problemas más frecuentes que se pueden encontrar en la etapa de construcción son las pérdidas de tiempo y dinero causadas por re-procesos en diseños, cálculos de cantidades y actualización de presupuestos. No solo se encuentran errores consecuencia del mal desarrollo en la etapa de diseños sino también se pueden encontrar errores propios de campo, como retrasos en entregas de materiales por parte de proveedores, errores de ejecución por mala interpretación de planos y errores en la ejecución por parte del personal de obra. Se debe tomar en cuenta que estos problemas son en general consecuencia de cambios de diseños, planificación sin integración de especialidades y de las deficientes habilidades para interpretar entregables en campo por parte del personal no calificado.

3.2.2 Diagnóstico del caso en Estudio

La obra “Mejoramiento de los Servicios de Salud, del Establecimiento de Salud de Chala, Distrito de Chala, Provincia de Caravelí, Región Arequipa”, es una licitación pública con número N°009-2015-GRA, bajo el sistema de suma alzada, y con

modalidades de mano en llave y concurso oferta, esto para la elaboración del expediente técnico, ejecución de obra y equipamiento del mismo.

La elaboración de su Expediente de esta obra, fue aprobado para su ejecución, por parte de la Entidad Contratante, para el caso específico, por el Gobierno Regional de Arequipa (GRA). En dicho expediente se establecen diferentes presupuestos con diferentes parámetros y que son modificados durante la ejecución de obra.

Debido al sistema de contratación utilizado, suma alzada, el contratista está encargado del desarrollo del diseño del proyecto y la construcción del mismo, basado en un anteproyecto sobre el cual se ha realizado el dimensionamiento previo de las unidades de servicio que van a contar. Según lo establecen las bases del concurso, cualquier omisión o error en el diseño es responsabilidad única del contratista.

3.2.3 Diagrama de flujo del Proceso Tradicional de Ejecución de Obras Públicas

Esta ejecución de obra tiene un proceso el cual se muestra en la Figura 5, donde se ve el flujo que siguió esta obra pública de Servicios de Salud según el sistema tradicional del sistema público específicamente por sistema de contratación de suma alzada.

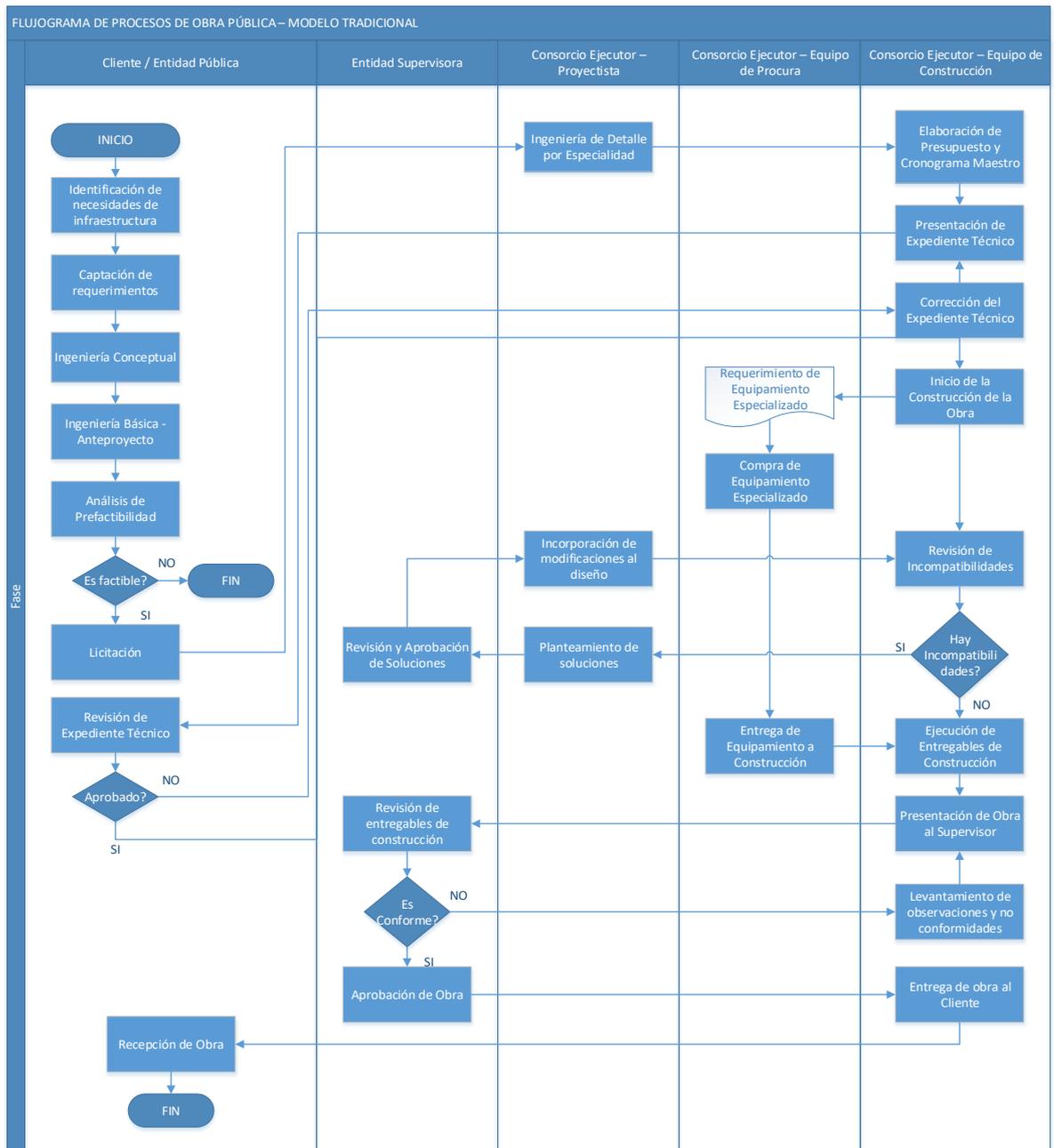


Figura 5. Proceso de obra pública tradicional del sector hospitalario con sistema de contratación de suma alzada
Fuente: Elaboración Propia

La Figura N° 5 representa el ciclo de un proyecto en la fase de pre inversión e inversión. Durante el proceso de la gestión del alcance del proyecto se inicia con la ingeniería esquemática que consiste en ver la rentabilidad o factibilidad del proyecto (diagnóstico de brechas), posteriormente se efectúa la ingeniería conceptual que consiste en identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto; ambas ingenierías corresponden como responsabilidad de la Entidad. Finalmente se ejecuta el proceso de contratación, en nuestro caso de estudio una licitación pública, considerando el sistema de contratación (suma alzada) y la modalidad de ejecución (concurso oferta), para nuestro caso, sujeto a lo indicado en el reglamento de la ley de contrataciones del estado, este proceso de contratación corresponde como responsabilidad de la Entidad, del Contratista y de la Supervisión.

Así mismo, durante el proceso de la gestión de planeamiento del proyecto se desarrolla la ingeniería básica que representa el primer alcance, donde se define los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto, que forman los pilares en que se basará la ingeniería de detalle que representa los planos detallados por especialidad del proyecto (expediente técnico), para posteriormente ser ejecutado.

En el caso de que el proyecto no presente ninguna incompatibilidad, se procederá a la ejecución total del proyecto, para finalmente ser entregado a la Entidad, quienes se encargarán de la puesta en marcha, operación y mantenimiento del proyecto de inversión. Para el caso de que el proyecto sí presente incompatibilidades en las diferentes especialidades del proyecto, se procederá a generar una solicitud de información (requests for information - RFI) y órdenes de cambio, que consiste en aceptar un cambio en costo y/o tiempo, por lo que, tanto la Entidad como el Contratista y la Supervisión deberán tomar decisiones a favor de la continuidad y culminación del proyecto.

Respecto a las incompatibilidades que se presenten en la obra pública tradicional por sistema de contratación de suma alzada, se seguirá un proceso que se puede ver en la Figura N°6.

En la Figura N°6, se establece el procedimiento para la formulación de consultas al proyecto, estas consultas son por lo general, incompatibilidades entre especialidades, precisiones respecto a especificaciones de partidas y/o equipamiento.

En caso de presentarse alguna incompatibilidad, que demande una aclaración y/o modificación de las especificaciones, planos, etc. Deberán ser presentadas a la supervisión, de acuerdo establece el reglamento de ley de contrataciones del estado, quien en caso no requiera de la opinión del proyectista, cuentan con un plazo de 5 días para su pronunciamiento. En caso no sean resueltas el contratista tiene 2 días hábiles para acudir a la entidad.

En caso sea necesario el pronunciamiento del proyectista, la supervisión debe elevar la consulta a la Entidad, quien tiene un plazo de 4 días, luego de su anotación en cuaderno de obra. La entidad, en coordinación con el proyectista tiene un plazo de 15 días para absolver dicha consulta.

El reglamento de ley de contrataciones del estado, establece un procedimiento genérico para el proceso de las consultas, producto de las mismas se pueden generar modificaciones al proyecto, que a su vez pueden generar adicionales con o sin deductivos vinculante.

3.2.4 Problemáticas encontradas en el caso de estudio

En el entendido, como es el caso de estudio, que el proyecto fue desarrollado por un componente del consorcio, se hace el análisis de la ejecución de obra de forma independiente, es decir, como si fuese un tercero quien hubiese desarrollado el proyecto, y se analizan las afectaciones que estos errores u omisiones afecten directamente la ejecución de obra. Es por ello que se describen las observaciones y problemáticas más representativas encontradas y resueltas con sus respectivas consecuencias para el proyecto durante el proceso de obra, las cuales se describen a continuación:

a. Corte de material rocoso

En el alcance del expediente técnico del caso de la obra de Mejoramiento de los servicios de salud en el Establecimiento de Salud de Chala en Arequipa, se establece

un presupuesto referencial para el área de estructuras, la cual contiene un desglose de partidas, con metrados y precios unitarios a los que, sumados los Gastos Generales, Utilidad e IGV, suman en su totalidad del valor referencial. Dentro del detalle de dicho presupuesto, se encuentra la actividad de Movimiento de tierras, el cual contiene la partida de Corte de material rocoso en el cual describe la cantidad y precios de la actividad a realizar, en el cual se muestra que el metrado es de $7,261.85 \text{ m}^3$, el costo por m^3 presupuestado es de S/ 7.16 lo que equivale a un presupuesto designado para esta actividad de S/ 55,335.30 (Sin IGV), además, se indica que el plazo de ejecución de dicha partida debe ser de 120 días.

Sin embargo, luego del replanteo de inicio de obra, se obtiene una compatibilización de los metrados reales a ejecutar, dando cuenta, que dicha partida tiene un metrado real de $18,545.00 \text{ m}^3$, es decir 155.4% más de lo planificado, lo cual afectará el plazo y los recursos estimados para su ejecución. Este errado valor referencial es perjudicial para el contratista debido al sistema de contratación, dice que la diferencia no puede ser reclamada como adicional puesto que se entiende como una falla en la concepción de dicho metrado, siendo responsabilidad del contratista la estimación del mismo.

El valor adicional que el contratista debe asumir para esta partida es de S/.85,977.60 (Sin IGV) correspondientes a $11,283.15 \text{ m}^3$. Lo que representa un perjuicio económico para el contratista, afectando su flujo de caja para el desarrollo del proyecto.

En resumen, la diferencia del presupuesto asignado frente al presupuesto real ejecutado se puede ver en el Tabla N°1, donde se aprecia que el presupuesto real es de S/.166,746.22 con IGV. Además, el plazo de ejecución se ha extendido a 210 días, lo que quiere decir un retraso de 90 días, en el cual diferentes áreas y actividades de la obra han sido perjudicadas.

Tabla 1. Presupuesto asignado frente al presupuesto real ejecutado para la partida Corte de material rocoso

Descripción	Expediente Técnico	Ejecutado	Perdidas	Porcentaje (%)
Metrado (m3)	7,261.85	18,545.00	11,283.15	255.4
Precio (S/. x m3)	S/ 7.62	S/ 7.62	S/ 7.62	
Precio Parcial	S/ 55,335.30	S/ 141,312.90	S/ 85,977.60	
Precio Total incluye IGV	S/ 65,295.65	S/ 166,749.22	S/ 101,453.57	
Tiempo (días)	120	210	90	175

Fuente: Elaboración Propia

Así también, se puede evidenciar en los planos topográficos y los planos de arquitectura la gran diferencia respecto a los metrados contractuales considerados en el proceso de licitación, ver Figura N°7 y N°8.



Figura 7. Plano Topográfico Contractual
Fuente: Expediente Técnico

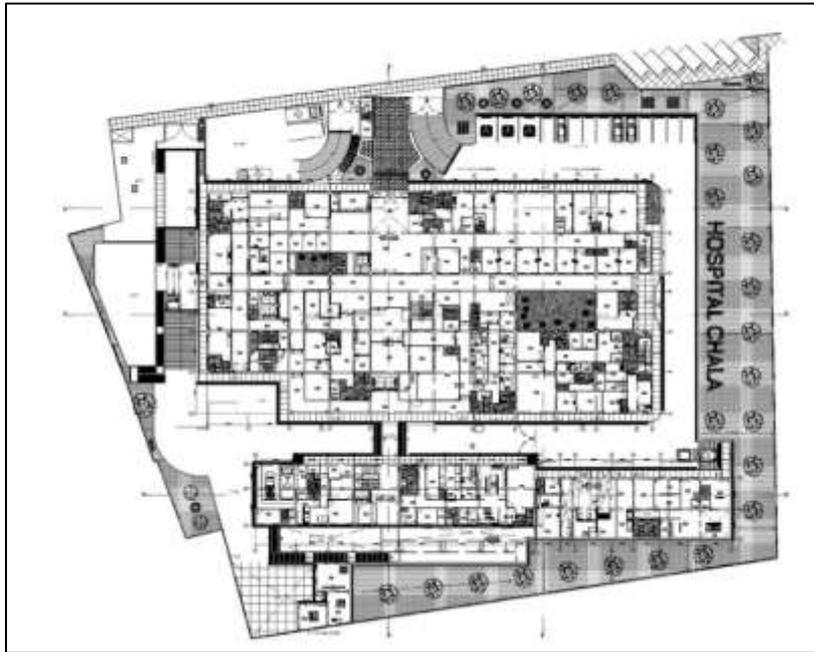


Figura 8. Plano de distribución general – 1° nivel
Fuente: Expediente Técnico

En este caso, la compatibilización de los planos topográficos y los de arquitectura, hubiese sido suficientes para determinar el real volumen de corte, y, por tanto, su consideración en los metrados contractuales a ejecutar.

Tal como se muestran en las vistas, la compatibilización de los planos de arquitectura y topografía hubiese permitido determinar de una manera eficiente la volumetría de roca a cortar, evitando de esta forma que el contratista se vea afectado económicamente, al tener que ejecutar un metrado muy superior al pagado en el presupuesto contractual y también los plazos de entrega.

b. UPSS de Emergencia

De acuerdo al expediente aprobado por la entidad El Hospital de Chala, cuenta con una UPSS Emergencia de un área de 793.95 m², para tales fines, además de UPSS Diagnóstico por imágenes y una central de Esterilización, que dan el soporte necesario a la UPSS Emergencia, lo que está indicado en la memoria descriptiva del proyecto, sin embargo, una vez entregado el expediente final y aprobado este para su construcción, el contratista se da cuenta de que a pesar que el hospital es de categoría II-E, este no contaba con una UPSS de Emergencia, sino de urgencias,

esto ya que no se cuenta con una sala de operaciones debidamente soportada, que es lo que debería tener una UPSS de emergencias.

Además, es de conocimiento que el hecho de contar con una sala de partos, sin el soporte de una de operaciones, puede ser considerado riesgoso, teniendo que en cuenta que más del 80% de partos programados como naturales, terminan siendo cesáreas, para lo que se requiere de otro tipo de infraestructura, como una sala de operaciones y la infraestructura de soporte necesaria.

Por ello, el contratista presentó mediante informe a supervisión, un diagnóstico acerca de las condiciones establecidas en el proyecto y haciendo notar la deficiencia de la inexistencia de una UPSS de Emergencia para este Hospital, el área de Supervisión dio cuenta de dicho informe, acompañado de la opinión del especialista en arquitectura Hospitalaria, dando cuenta de la deficiencia en el diseño y enfatizando la necesidad de contar con dicha UPSS Emergencia, por los argumentos señalados.

Es así, que la entidad ejecutora realiza una nueva formulación del UPSS de Emergencia para este Hospital, dándose cuenta que, de haberse realizado una compatibilización adecuada entre el PAMA, la norma NTS 110, y el proyecto, se habría identificado esta deficiencia incluso en la formulación del proyecto mismo, habiéndose corregido en el último entregable, a fin de licitar un proyecto funcional y acorde a la normativa de salud vigente, ver Figura N°9 y N°10.

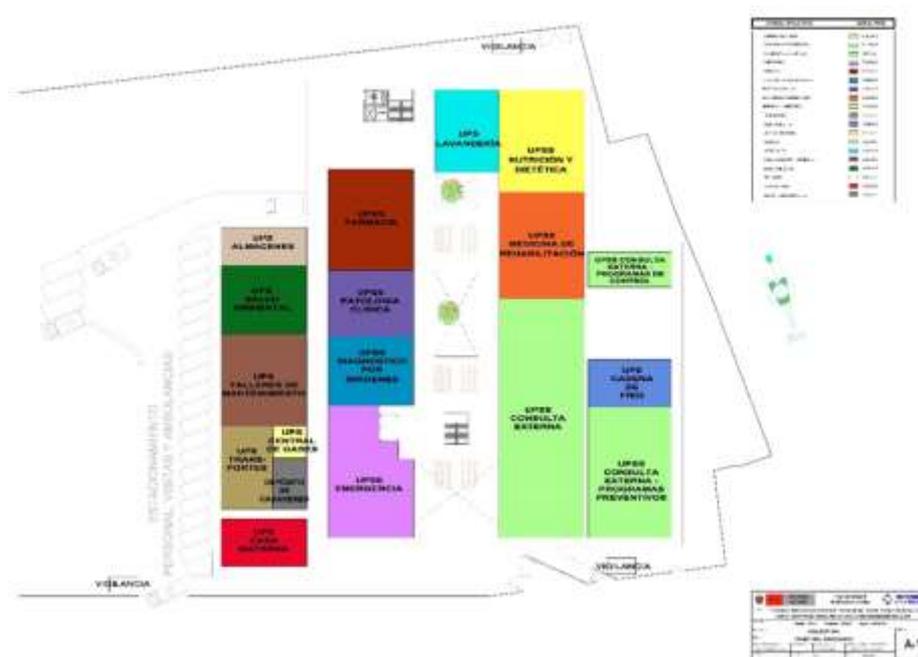


Figura 9. Zonificación dada en el estudio de pre inversión del Proyecto – 1º Nivel
Fuente: Expediente Técnico

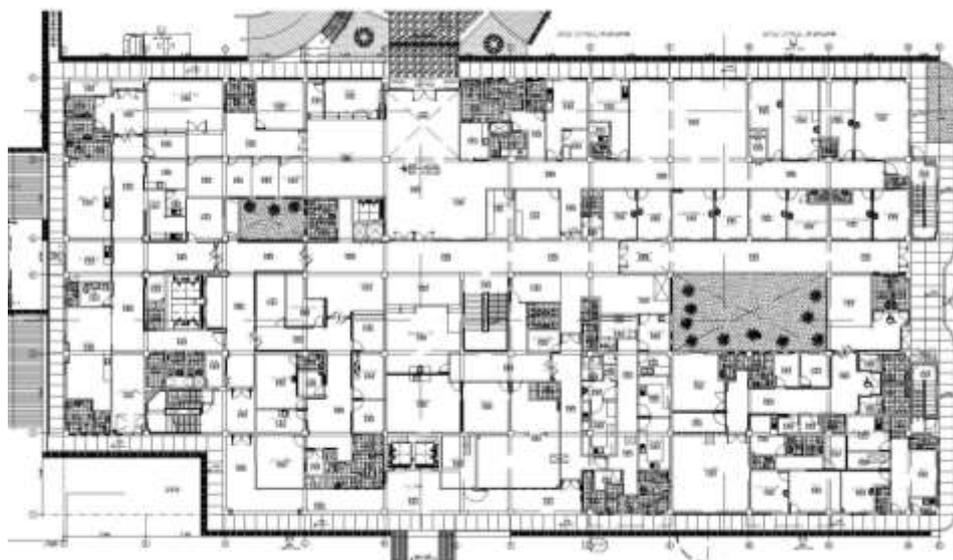


Figura 10. Planta general del proyecto – 1º nivel
Fuente: Expediente Técnico

En la nueva formulación para el área de UPSS de Emergencia, se incrementó el área a construir, este paso de 793.95 m² a un metrado de 918.55 m², para que sea funcional, es decir un incremento más de 15.7%. Así también, se incrementó el presupuesto asignado del expediente técnico, incrementándose en más de medio

millón de soles, exactamente en S/.514,345.06. En referencia al tiempo de ejecución se extendió de 90 días a 120 días. Ver, Tabla N°2.

Tabla 2. Presupuesto asignado frente al presupuesto real ejecutado para la partida UPSS de Emergencia

Descripción	Expediente Técnico	Ejecutado	Incremento	Porcentaje (%)
Metrado (m2)	793.95	918.55	124.60	115.7
Precio (S/. x m2)	S/ 4,127.97	S/ 4,127.97	S/ 4,127.97	
Precio Total incluye IGV	S/ 3,277,401.78	S/ 3,791,746.84	S/ 514,345.06	
Tiempo (días)	90	120	30	133.3

Fuente: Elaboración Propia

Cabe indicar que la formulación de la rectificación de este error lo hizo la entidad ejecutora, así la misma ejecución de la construcción debido que el contratista no veía viable asumir esa construcción.

c. Demora en la procura, adquisición e instalación de los aisladores sísmicos.

La demora en el proceso de adquisición e instalación de los aisladores sísmicos para la obra, generaron mayores plazos de ejecución, afectando la ruta crítica de la obra.

Además, en el Informe de acción simultánea N° 042-2017-OCI/5334-AS, se expone la verificación de los trabajos efectuados en la obra: Mejoramiento del centro de salud de Chala, Distrito de Chala, Provincia de Caraveli, Región de Arequipa, realizada el 21 de agosto de 2017, en el que se ha identificado hechos que sitúa en riesgo el logro de los objetivos o resultado de la liquidación técnico financiera de la obra, la observación se detalla a continuación: Aprobación de la adquisición de los aisladores sísmicos por el proyectista y el especialista estructural de la supervisión, pese a no cumplir con las especificaciones técnicas del proyecto, sitúa en riesgo la garantía de los aisladores que son usados en el proceso constructivo.

De acuerdo al expediente técnico aprobado por la entidad, El Hospital de Chala contempla la instalación de aisladores sísmicos, cuya función es separar la estructura de los movimientos del suelo para evitar daños que pudieran darse en la edificación por acción sísmica, el presupuesto destinado para los aisladores sísmicos se detalla en la Tabla N°3:

Tabla 3. Presupuesto asignado para la partida de instalación de Aisladores sísmicos

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO
Aisladores sísmicos	S/. 1,279,036.08 (sin IGV)

Fuente: Elaboración Propia

En ese sentido, la adquisición e instalación de los aisladores sísmicos se debe efectuar cuidadosamente, no solo por el presupuesto que involucra la adquisición sino por la función que desempeña en la edificación, por lo cual el cumplimiento de las especificaciones técnicas es prioritario.

En la visita efectuada a la obra el 21 de agosto de 2017, se advirtió que los aisladores sísmicos han sido montados e instalados en los pedestales, sin haber seguido los protocolos adecuados y sin aprobación previa de la supervisión, incumpliendo con lo señalado en las especificaciones técnicas.

Conforme lo establece las especificaciones técnicas del expediente técnico, se determinan una serie de procesos y pruebas que tienen que realizarse, antes de la fabricación de los aisladores que han de instalarse en la obra (diseño de aisladores aprobado por el proyectista, planos de fabricación aprobado por el proyectista, plan de ensayos prototipo aprobado por el proyectista y la supervisión y el ensayo de los aisladores que consiste en 02 prototipos antes de la fabricación y 02 durante la instalación que tendrá que ser aprobado por la supervisión).

La empresa Freyssinet Tierra Armada Perú SAC, quien fue el proveedor de los 84 aisladores sísmicos, presentó los siguientes inconvenientes al momento de la entrega de los mismos:

- **Diseño de aisladores:** El diseño no cumplió con el prototipo determinado en el expediente técnico, razón por la cual se advierte el recalcule de la estructura por las diferencias con el prototipo determinado en el expediente técnico y el entregado por la empresa Freyssinet Tierra Armada Perú SAC.
- **Planos de fabricación:** Conforme lo determinan las especificaciones técnicas, el fabricante deberá entregar el manual de instrucciones, transporte, almacenamiento, etc, sin embargo, la documentación fue remitida a la

supervisión después de la llegada de los aisladores sísmicos y cuando estos ya habían sido trasladados y en proceso de instalación.

- **Plan de ensayos a los aisladores prototipo:** Conforme lo determinan las especificaciones técnicas, se indica que la empresa proveedora de los aisladores sísmicos antes de iniciar la fabricación de estos, debía tener aprobado el plan de ensayos de los prototipos por parte del proyectista, sin embargo el plan y la aprobación del mismo no fue de conocimiento de la supervisión.
- **Ensayo de los aisladores sísmicos:** Conforme lo determinan las especificaciones técnicas y la normativa ASCE7-10 que señalan que deben ser ensayados dos prototipos para que los resultados de la prueba sean válidos, se reportó de un solo prototipo, además se verificó la ausencia del proyectista como testigo en el ensayo realizado al prototipo, y de la supervisión para dar conformidad al ensayo.0

El inicio de la ruta crítica de esta actividad debió empezar el 2 de mayo del 2017, pero por todos los inconvenientes antes mencionados, se inicio en 29 de agosto. Entonces el atrasó de la ejecución de esta actividad fue de 120 días.

d. Gestión de adquisiciones del Equipamiento

Al ser un proyecto a llave en mano, el contratista se encarga del diseño y construcción del hospital de acuerdo a las características establecidas en la “Norma Técnica De Salud “Infraestructura Y Equipamiento De Los Establecimientos De Salud Del Segundo Nivel De Atención”, dentro de las obligaciones del contratista se encuentra el Suministro e Instalación del Equipamiento Electromecánico y Médico de El Hospital de Chala.

Para el equipamiento del Hospital de Chala, según los requerimientos técnicos mínimos generales de la Norma NTS 110, los equipos deben permitir brindar un servicio con la tecnología vigente en el mercado, estar fabricados con materiales y partes originales de alta calidad, ser totalmente ensamblados en fábrica y ser entregados en perfecto estado de conservación.

Según las bases de licitación, el Contratista está obligado a ofertar equipos nuevos (sin uso), de última generación, por la totalidad de bienes requeridos en el Cuadro de equipos a Adquirir. La fecha de fabricación no deberá exceder de doce (12) meses anteriores a la fecha de presentación de propuesta. Sin embargo, esto no se cumplió por haber un retraso de parte del Contratista en la procura y adquisición de equipamiento médico.

De acuerdo al expediente técnico, hubo un cronograma de adquisiciones de acuerdo al tipo de equipo por su condición de instalación que no se cumplió, ver Tabla N°04.

Tabla 4. Cronograma de actividades del proceso de Instalación y Entrega de equipos

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROCESO DE INSTALACION Y ENTREGA DE EQUIPOS - HOSPITAL "CHALA" DE AREQUIPA NIVEL DE ATENCION II-E																
N°	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD/MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	12	13	14	15	16
1	Ejecución de obra	■	■	■												
2	Presentación de EETT	■	■	■												
3	Aprobación de EETT			■	■	■	■	■								
4	Coordinación de pre instalación								■	■	■	■	■			
5	Ubicación de equipamiento y mobiliario													■	■	■
6	Capacitación													■	■	■
7	Puesta en marcha													■	■	■
NOTAS																
MES 1	Inicio y avance de la obra															
MES 8	Inicio de los trabajos de pre-instalaciones de los equipos médicos y electromecánicos															
MES 14	La capacitación iniciará una vez culminado los trabajos de pre instalación de los equipos en paralelo con la ubicación del resto de equipos y mobiliario															
MES 16	Culminación de la obra															

Fuente: Elaboración Propia

Hubo una falta de comunicación de parte del Contratista, afectando directamente a los procesos de adquisición; así mismo, no hubo un ciclo de adquisiciones (Compras, Recepción, Almacenamiento e inventarios), proceso que lleva implícita la búsqueda y selección de proveedores – ciclo de proveedores. No se realizó el

ciclo del proveedor (La búsqueda, selección, registro, seguimiento y evaluación de los proveedores), no se desarrollaron alianzas y acuerdos con proveedores para garantizar relaciones a largo plazo como contratos de consignación o acuerdos de precio de manera que se pudieron optimizar los procedimientos de compra de bienes de alta rotación.

e. Incompatibilidades entre especialidades (estructuras - arquitectura - instalaciones)

Existe incompatibilidad entre los planos de una y otra disciplina, sobre todo de la parte civil con las instalaciones, las mismas que al no ser detectadas previas a la ejecución por no contar con un proceso de compatibilización, terminaron generando problemas en el funcionamiento de los sistemas y de cada especialidad, haciendo necesario cambios posteriores (retrabajos) y gastos no contemplados para su corrección, que además significan retrasos en lo programado, y que al ser una obra por suma alzada deben ser asumidas completamente por el contratista.

Tabla 5. Resumen de Incompatibilidades y sus impactos

INCOMPATIBILIDAD ENTRE ESPECIALIDADES (estructuras - arquitectura - instalaciones)					
ITEM	PROBLEMÁTICA		COSTO (S/.)	PLAZO (días)	OBSERVACIÓN
1.00	Estructuras:	Reubicación de columnetas, replanteo de cantidad de columnetas de acuerdo a lo establecido por el E-070. Se replanteo la cantidad, ya que el proyecto no contemplaba la cantidad necesaria según la norma.	67,810.05	15	La estimación se hace en base a los metrados de ejecución, pero esta no afecta la ruta crítica del proyecto, por lo que no se otorgo una ampliación de plazo, ya que no tenía justificación de acuerdo al sistema de contratación vigente.
2.00	Arquitectura:	Corrección de ubicación de ambientes, por incompatibilidad con planos de estructuras y arquitectura, reubicación de muros y vanos.	15,000.00	10	Los costos, se estiman es base a la mano de obra necesaria para le ejecución de la actividad
		Corrección de ubicación de vanos, por interferencia con columnetas y columnas	-	12	Los plazos se calculan en función al tiempo directo de ejecución de la actividad, no se

					otorgo ampliación de plazo, debido a la falta de sustento en función al sistema de contratación vigente.
3.00	Instalaciones Sanitarias:	Interferencia de las redes de ACI con vigas peraltadas. Originó un replanteo y la consulta a estructuras para el acondicionado de vigas para generar pases.	8,500.00	35	El plazo se estima en función al tiempo de demora de la consulta de replanteo al proyectista, la ejecución no demando tiempos adicionales. no se otorgo ampliación de plazo, debido a la falta de sustento en función al sistema de contratación vigente. Los costos se estiman en base al refuerzo estructural necesario para generar los pases respectivos.
		Interferencia de las redes de desagüe colgado con vigas peraltadas. Originó un replanteo y la consulta a estructuras para el acondicionado de vigas para generar pases.	6,500.00	25	El plazo se estima en función al tiempo de demora de la consulta de replanteo al proyectista, la ejecución no demando tiempos adicionales. no se otorgo ampliación de plazo, debido a la falta de sustento en función al sistema de contratación vigente.
4.00	Instalaciones Electricas y comunicaciones :	Ubicación y reubicación de bandejas de comunicaciones e instalaciones de acometidas, intersección entre bandejas y ductería de HVAC. Reubicación de ambientes de tableros electricos.	15,000.00	45	El plazo se estima en función al tiempo de demora de la consulta de replanteo al proyectista, la ejecución no demando tiempos adicionales. no se otorgo ampliación de plazo, debido a la falta de sustento en función al sistema de contratación vigente.
5.00	Instalaciones Electromecanicas	Replanteo de ductería de HVAC, intersección con vigas estructuras y falso cielo raso.	45,000.00	65	El plazo se estima en función al tiempo de demora de la consulta de replanteo al proyectista, la ejecución no demando tiempos adicionales. no se otorgo ampliación de plazo, debido a la falta de sustento en función al sistema de contratación vigente.

TOTAL	S/ 157,810.05	207	
--------------	--------------------------	------------	--

Fuente: Elaboración Propia

f. Control de tiempo mensual basado en un comparativo con el cronograma valorizado:

- Durante la ejecución de la obra el control de avance se realizaba mensualmente haciendo una comparación y contraste con el cronograma valorizado contractual. Según la normativa legal de las obras públicas se determina que si el avance presenta un atraso por debajo del 80% del monto en el acumulado, se debe haber ejecutar un ajuste y una reprogramación del cronograma de las actividades desfasadas que correspondan, sin embargo si esto vuelve a ocurrir una segunda vez, ya existe causal para rescindir el contrato.
- Un control mensual no es suficiente para lograr una recuperación adecuada y a tiempo, más aún cuando el plazo de obra es ajustado y corto, esto lleva a que las medidas necesarias deban ser mucho más drásticas y que impliquen muchas veces pérdida para el ejecutor.
- El principal problema de un control tardío es la desactualización rápida del cronograma, generando que durante la ejecución de las actividades no se tenga un plan vigente, por lo tanto el desarrollo real de las actividades se ejecuta de manera improvisada y dejando el campo abierto a que las decisiones tengan que ser tomadas por el personal de obra sin ningún análisis previo. Sumando a esto que en la construcción existe siempre una alta variabilidad e incertidumbre en los procesos, que muchas veces es causal de paras o retrasos en los flujos de las actividades, pérdidas de productividad o procesos ineficientes, que en conclusión hacen que la planificación sea desconfiable.
- Por ello podemos concluir que no se cuenta con herramientas o estrategias de control dinámicas que identifiquen a tiempo restricciones o cambios necesarios en el proceso, que aseguren que lo ejecutado sea similar a lo que se planeó, se logre mitigar el impacto de la variabilidad y sirvan de protección del cronograma.
- Es así que, la obra programada para ejecutarse en 390 días, terminó ejecutándose en 750 días.

g. Errores y deficiencias en los metrados de obra:

Una de las etapas más importantes para la obtención del presupuesto y la planificación de una construcción son los metrados, que permiten calcular la cantidad de obra a realizar, logrando la extracción de las medidas del proyecto para determinar los recursos necesarios, sean materiales, equipos o mano de obra para la realización de cada una de las partidas, obteniendo además un costo unitario de cada una de estas. El proceso de metrado además requiere de una lectura y estudio de los planos de las diferentes especialidades, ayudando a identificar posibles indefiniciones o errores de ingeniería.

En la obra se detectaron varias falencias en la ejecución de los metrados:

- En el proceso de licitación, donde no se identificó las cantidades correctas de obra por ejecutar, incurriendo al ser una obra por suma alzada en pérdidas por mal cálculo y dimensión de recursos y retrasos por error en la planificación.
- Así como durante el proceso de construcción y valorizaciones, donde la actualización de los presupuestos por los cambios de ingeniería o actualizaciones de diseño dejan probabilidad a omisión de algunos datos o detalles constructivos, ya que solo es un proceso técnico y estático realizado en gabinete que se da en simultáneo a la aparición de cualquier cambio. Además, no se cuenta con herramientas más dinámicas que vinculen el proceso metrados con el control de avance en tiempo real, que hagan verificación de lo ejecutado vs lo planificado y así se puedan dar alertas por desviaciones y que permitan una interacción rápida y agilicen la gestión de información a todo el equipo de obra.

h. Gestión de ingeniería

Demoras en la gestión de cambios y modificaciones durante el proceso de ejecución de obra, por la detección tardía de omisiones (información faltante), incompatibilidades y errores de diseño que fueron recién detectadas en la fase de construcción, las mayores deficiencias se encuentran en aclaraciones de información brindadas en los planos y especificaciones técnicas, estas aclaraciones se deben a la insuficiente información que llevaban algunos planos. Estas deficiencias han

impactado negativamente el proyecto sobre todo en el plazo por el tiempo en su resolución y por la disminución de la productividad y avance.

CAPITULO 4

PROPUESTA DE VALOR

La infraestructura pública en el Perú tiene bastantes falencias causadas por una inadecuada gestión en planificación y ejecución, poco control del Estado, fragmentación propia del tipo de contrataciones hechas por el Estado, estudios de pre-inversión (perfil y factibilidad) incompletos, restricciones financieras, entre otras (Arnao, R., 2011).

Es así que, mediante DECRETO SUPREMO N° 289-2019-EF, se establece disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en los procesos de inversión pública de las entidades y empresas públicas sujetas al Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, creado por el Decreto Legislativo N° 1252, Decreto Legislativo que crea el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones.

El nuevo sistema INVIERTE.PE programa estratégicamente la formulación y evaluación de proyectos. Además, identifica y prioriza proyectos que cierran brechas sociales y económicas. INVIERTE.PE posee 4 fases, las cuales se ven en la siguiente imagen:

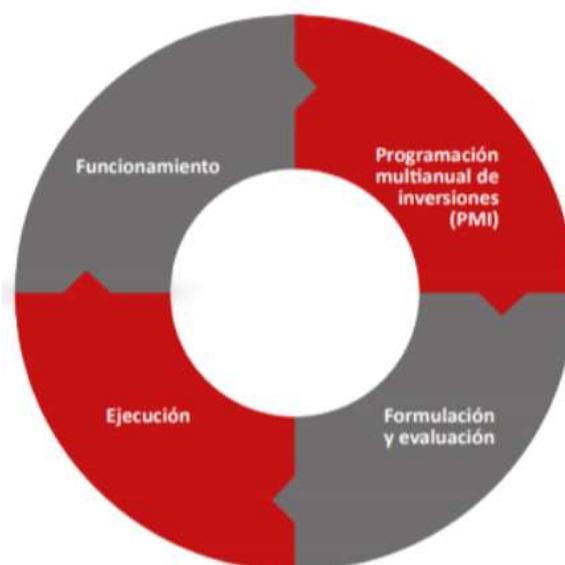


Figura 11. Fases de proyectos públicos
Fuente: INVIERTE.PE

En este capítulo se propone la implementación de la metodología BIM y Lean Construction utilizando el marco teórico propuesto, para poder combatir el diagnóstico de la situación actual del caso de estudio; se busca abarcar las etapas de pre-inversión e inversión de proyectos públicos, enfocándonos en proponer cambios en la normativa y básicamente en la gestión del diseño y planeamiento para próximos proyectos de las mismas características, haciéndose necesario intervenir desde las bases de licitación y el sistema de contratación de obra tanto para el desarrollo de la ingeniería, como para la ejecución e implementación del proyecto.

La propuesta entonces plantea la implementación de la tecnología BIM en la etapa de pre-inversión y BIM de la mano de Lean Construction para la etapa de inversión, con enfoque principal en la fase de diseño, durante todo el ciclo de vida del proyecto.

4.1 Propuesta en la fase de Pre-Inversión

Para nuestra evaluación en la fase de PRE-INVERSIÓN, se considera lo siguiente:

4.1.1 Programación multianual

Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios y definición de los objetivos a alcanzarse respecto a dichas brechas.

La incorporación de BIM en los procesos de inversión de la Entidad será con una estrategia de implementación progresiva que identifique debidamente las áreas estratégicas a ser desarrolladas o fortalecidas con la finalidad de mejorar la calidad, eficiencia y transparencia de la inversión pública.

Para nuestro caso de estudio, incorporando BIM en la fase de programación multianual comprenderá las siguientes etapas, ver Tabla N°6.

Tabla 6. Fase de programación multianual del ciclo de inversión

PROCEDIMIENTO ACORDE A INVIERTE.PE	INCORPORACIÓN BIM
Elaboración y aprobación de los indicadores de brechas (expresiones cuantitativas) de infraestructura o de acceso a servicios. La oficina de programación multianual de inversiones es el responsable de conceptualizar, definir y actualizar los mencionados indicadores.	La oficina de programación multianual de inversiones debe certificar que la incorporación BIM genere ahorros en el uso de los fondos públicos a lo largo del ciclo de inversión (reducción de sobrecostos y atrasos en la ejecución de la infraestructura pública), estableciendo indicadores.
Elaboración y publicación del diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios. La oficina de programación multianual de inversiones es el responsable de elaborar el diagnóstico de la situación de las brechas para su posterior publicación en el portal institucional.	La oficina de programación multianual de inversiones debe considerar la complejidad de la infraestructura pública, el monto de inversión y la modalidad de ejecución a fin de que la incorporación de BIM genere mayor eficiencia en el uso de los fondos públicos destinados a la inversión, estableciendo el nivel de detalle y de madurez.
Elaboración y aprobación de los criterios de priorización, los cuales se elaboran sobre la base del diagnóstico de brechas.	Se incorporará información de la infraestructura pública desde sus etapas iniciales para su posterior utilización en las demás fases del ciclo de inversión.
Elaboración de la cartera de inversiones del programa multianual de inversiones.	La entidad debe garantizar que la infraestructura pública con aplicaciones BIM se ejecute acorde con los estándares de calidad y niveles de servicio en beneficio de la población.
Aprobación del programa multianual de inversiones y presentación a la dirección general de programación multianual de	Se plantea la incorporación de BIM para garantizar una mejor y mayor participación, comunicación e

inversiones del Ministerio de Economía y Finanzas.	intercambio de información entre los diversos funcionarios de la Entidad involucrados en el desarrollo de la infraestructura pública, en las diferentes etapas y fases del ciclo de inversión.
Elaboración y publicación del programa multianual de inversiones del Estado.	La incorporación de BIM debe hacer explícito las diferentes decisiones que toman todos los funcionarios de la Entidad involucrados en el desarrollo de infraestructura pública a lo largo del ciclo de inversión, así como la información que emplean para dicho fin. Por lo tanto determinará los entregables necesarios para cumplir con la metodología BIM.

Fuente: Adaptación de tabla de [invierte.pe](#)-Decreto Supremo n° 289-2019-EF

a) Formulación y evaluación:

Formulación de propuestas de inversión consideradas en la programación multianual, y la evaluación sobre la viabilidad de su ejecución, siendo socialmente rentable, sostenible y concordante con los lineamientos de política determinada por las autoridades correspondientes.

En la Directiva General del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (estipulado en la Directiva N° 001-2019-EF/63.01) se define lo siguiente, ver Tabla 7.

Tabla 7. Fase de formulación y evaluación del ciclo de inversión

Procedimiento acorde a la Directiva N° 001-2019-EF/63.01	Incorporación BIM
Disposiciones generales sobre la formulación y evaluación Comprende la formulación del	La Entidad elaborará un plan de ejecución BIM donde se refleje las estrategias, procesos, recursos, técnicas,

<p>proyecto a través de fichas técnicas y los estudios de pre inversión a nivel de perfil.</p>	<p>herramientas, sistemas, entre otros que serán aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM.</p>
<p>Niveles de documentos técnicos Para el caso de estudio de acuerdo al artículo 16 del Reglamento, para la formulación y evaluación del proyecto se aplicará como nivel de documento técnico, una ficha técnica estándar (proyectos cuyo monto de inversión sean iguales o menores a 15 000 UIT) o un estudio de pre-inversión a nivel de perfil, si el proyecto de inversión es de alta complejidad.</p>	<p>En el ámbito de la licitación pública, se considerará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Objetivos y Usos BIM - Requerimientos BIM - Requerimientos técnicos - Recursos (software y hardware) - Clausulas BIM - Clausulas técnicas
<p>Aprobación de las fichas técnicas y de los estudios de pre inversión a nivel de perfil La ficha técnica estándar debe incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definición del problema y objetivos. - Cuantificación de su contribución al cierre de brechas. - Justificar el dimensionamiento del proyecto de inversión. - Las líneas de corte y/o los parámetros de formulación y evaluación respectivos (entendiendo por estos a la demanda, oferta, costos y beneficios). La fuente de información para los valores antes indicados debe corresponder a la 	<p>Contenido de las fichas técnicas estándar y/o perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descripción y beneficios potenciales. - Prioridad con respecto a otros usos BIM. - Dependencias con otros usos BIM. - Recursos requeridos (software y hardware). - Destrezas requeridas. - Responsable (roles y responsabilidades).

<p>misma tipología de proyecto de inversión.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Información cualitativa sobre el cumplimiento de requisitos institucionales y/o normativos para su ejecución y funcionamiento, según corresponda. - Análisis de la sostenibilidad del proyecto de inversión. <p>El perfil debe incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diagnóstico del estado situacional o necesidad que se pretende resolver y de los factores que influyen en su evolución. - Definición del problema y objetivos. - Estudio de mercado del servicio: análisis de oferta actual, oferta optimizada, demanda actual, proyección futura y cálculo de la brecha. - Estudio técnico: análisis del tamaño óptimo, localización, tecnología y momento óptimo de la inversión. - Identificación, medición y valorización de los costos y beneficios sociales. - Evaluación social del proyecto de inversión. - Plan de implementación. <p>Análisis de la sostenibilidad.</p>	
<p>Proceso de formulación y</p>	<p>La incorporación de BIM permitirá tomar</p>

<p>evaluación de proyectos de inversión</p> <p>La responsabilidad por la formulación y evaluación de los proyectos es de la unidad formuladora correspondiente. Está prohibido el fraccionamiento y la duplicación de un proyecto de inversión, bajo responsabilidad de la unidad formuladora que registra la intervención en el Banco de Inversiones.</p>	<p>decisiones de manera más controlada, eficiente, multidisciplinaria y además permitirá que en un momento dado se pueda detectar interferencias e incompatibilidades dinámicas con objetos durante la fase de ejecución.</p>
<p>Programas de inversión</p> <p>Un programa de inversión se sujeta durante la fase de formulación y evaluación a la elaboración del estudio de pre-inversión a nivel de perfil, el cual fundamenta su declaración de viabilidad.</p>	<p>El costo de la incorporación de BIM se financiará con cargo al presupuesto institucional de la Entidad, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público, en el marco de las leyes anuales de presupuesto y conforme a las disposiciones legales vigentes.</p>
<p>Declaración de viabilidad</p> <p>Se aplica a un proyecto de inversión cuando a través de la ficha técnica o estudio de pre-inversión ha evidenciado estar alineado al cierre de brechas de infraestructura o de acceso a servicios, tener una contribución al bienestar de la población beneficiaria y al resto de la sociedad en general y que dicho bienestar sea sostenible durante el funcionamiento del proyecto.</p>	<p>Aspectos a considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integridad de la ficha técnica BIM. - Clasificación. - Nivel de detalle. - Nivel de Información. - Interferencias internas de la ficha técnica. - Interferencias conjuntamente con otras fichas.
<p>Vigencia de la declaración de viabilidad</p>	<p>Con la implementación de BIM se obtendrá el incremento en la rentabilidad del proyecto,</p>

<p>La declaración de viabilidad de los proyectos de inversión tiene una vigencia de tres (03) años contados desde su registro en el Banco de Inversiones. Transcurrido dicho plazo sin haberse iniciado la elaboración del expediente técnico o documento equivalente, se debe actualizar la ficha técnica o el estudio de pre-inversión que fundamentó su declaratoria de viabilidad y registrar dicha actualización en el Banco de Inversiones.</p>	<p>siendo viable técnicamente, económicamente y financieramente.</p>
---	--

Fuente: Adaptación de directiva N° 001-2019-EF/63.01

4.1.2 Mapeo de procesos en la Etapa de Pre-Inversión

El mapeo de procesos consiste en determinar cómo gestionar y ejecutar los procesos dentro de la etapa de pre-inversión bajo la metodología BIM. Se plantea un proceso de licitación de obra pública incluyendo requerimientos BIM en la Figura 12.

Los documentos contractuales son el **INPUT** del Contratista que le servirá para ejecutar el proyecto y entregar el **OUTPUT** (proyecto concluido).

a) Gestión contractual

- Una afirmación en la definición de documentos contractuales sobre si las partes consideran que cualquier modelo digital son documentos contractuales y, de ser así, para que propósito.
- Los problemas legales que pueden ocurrir al adoptar el proceso BIM y cómo se pueden administrar (derecho de autor y/o derecho de propiedad intelectual en partes o elementos del modelo y gestión de datos).
- Asignación de riesgos entre los empleados del BIM.
- Profesionales relacionados con la tecnología BIM, se deben establecer los participantes tanto para el Estado o entidad contratante, como para el

contratista o responsable de la ejecución, dependiendo del tipo de contrato, mencionando claramente sus funciones, responsabilidades y sus entregables (se tienen diversos puestos, como Consultor BIM, Auditor BIM, Gestor de contenidos BIM, Director de Proyectos BIM, Jefe de Proyectos BIM, Coordinador BIM, BIM Project Management, BIM Construction Management, BIM Facility Management, BIM Safety Management, BIM Coordinador de Seguridad en fase de proyecto, BIM Modeller, Técnico de informática BIM, BIM Facility manager, Modelador BIM, BIM - Lean construction, entre otros).

- La implementación de un modelo de contrato colaborativo, con la consecuente definición de los intervinientes, diseñador, supervisor y ejecutor, permitiría establecer un diseño refinado bajo criterios de constructabilidad y eficiencia. Lo que permitiría reducir en gran medida las incongruencias e incompatibilidades durante la ejecución del proyecto, a la vez, realizar un control más eficiente durante los procesos, más agudeza en el control de especificaciones técnicas y por lo tanto un producto económico, y concluido en los plazos establecidos.
- Dichas implementaciones, supondrían modificaciones a algunos artículos de la Ley de Contrataciones del Estado y su reglamento, desde el proceso mismo de selección de proyectista, contratista y supervisor, estableciendo criterios de experiencia y/o conocimientos en la metodología BIM, hasta su capacidad de implementación para ser elegidos. La implementación de juntas de resolución de disputas, con la potestad de dirimir sobre controversias, siempre con apego a las normas establecidas en el código civil. Las responsabilidades de cada interviniente durante el proceso, además de los alicientes a darse al alcanzar un hito definido.
- Una alternativa paralela sería la implementación de una normativa específica para determinados tipos de proyectos, especialmente en los que se requiera la intervención de varias especialidades, de tal forma se viabilice la implementación de contratos colaborativos de una manera ágil.

b) Contenido contractual

De acuerdo con el Estándar BIM del Consejo de la Industria de la Construcción de Hong Kong (Fase I), el acuerdo BIM debe incluir:

- Aplicabilidad y propósito.
- Definiciones e Interpretación.
- Implementación de BIM en el proyecto.
- Condiciones precedentes.
- Obligaciones de los miembros del equipo de proyecto, y jerarquía.
- Requerimientos de informaciones del propietario.
- Plan de ejecución BIM (pre y post contrato)
- Definición de procesos de Intercambio de data BIM.
- Directores BIM.
- Reuniones BIM.
- Intercambio de información BIM.
- Calidad de los modelos.
- Niveles de desarrollo.
- Requerimientos para la conversión de modelos.
- Sistemas de información y seguridad de data.
- Derechos de propiedad intelectual.
- Enmiendas.
- Término y terminación de contrato.
- Indemnizaciones.
- Confidencialidad.
- Integridad del acuerdo.
- Severidad el acuerdo.
- Fuerzas mayores.
- Excepciones no implícitas.
- Cumplimiento de otros acuerdos.
- Supervivencia.
- Derechos de terceros.
- Ley Gobernante.
- Resolución de disputas.

c) **Tipos de contrato propuestos**

- **DESING-BID-BUILD**

Contrato tradicional de tipo secuencial, en este caso, el diseño y construcción van en contratos diferentes.

- **DESIGN & BUILD**

Contrato que integra el proyecto de diseño y construcción en un mismo contrato, lo que da mayor rentabilidad.

- **EPC (ENGINEERING, PROCUREMENT & CONSTRUCTION)**

En este tipo de contrato, BIM es obligatorio en todas las fases, lo que evita que se den problemas como en los contratos secuenciales,

- **IPD (INTEGRATED PROJECTO DELIVERY)**

Es una variante del EPC, este contrato incluye a todos los actores implicados en un proyecto, donde cada uno es propietario de una parte del modelo, lo que ayuda a tener un proyecto muy controlado al detectar dónde, quién y cómo de un error.

- **DBFO (DESING, BUILD, FINANCE & OPERATE)**

Este contrato aplica una filosofía similar al del EPC pero tiene la particularidad de incluir la financiación.

- **NEC (NEW ENGINEERING AND CONSTRUCTION CONTRACTS)**

La modalidad NEC alinea los intereses de todas las partes para buscar la disminución de costos y una mejor eficiencia.

Estos contratos estándar reducen significativamente el tiempo de negociación, en la medida que las partes no deben ponerse de acuerdo sobre el contenido de cada una de las cláusulas del contrato, sino únicamente completar o modificar las partes pertinentes del modelo, según el proyecto específico.

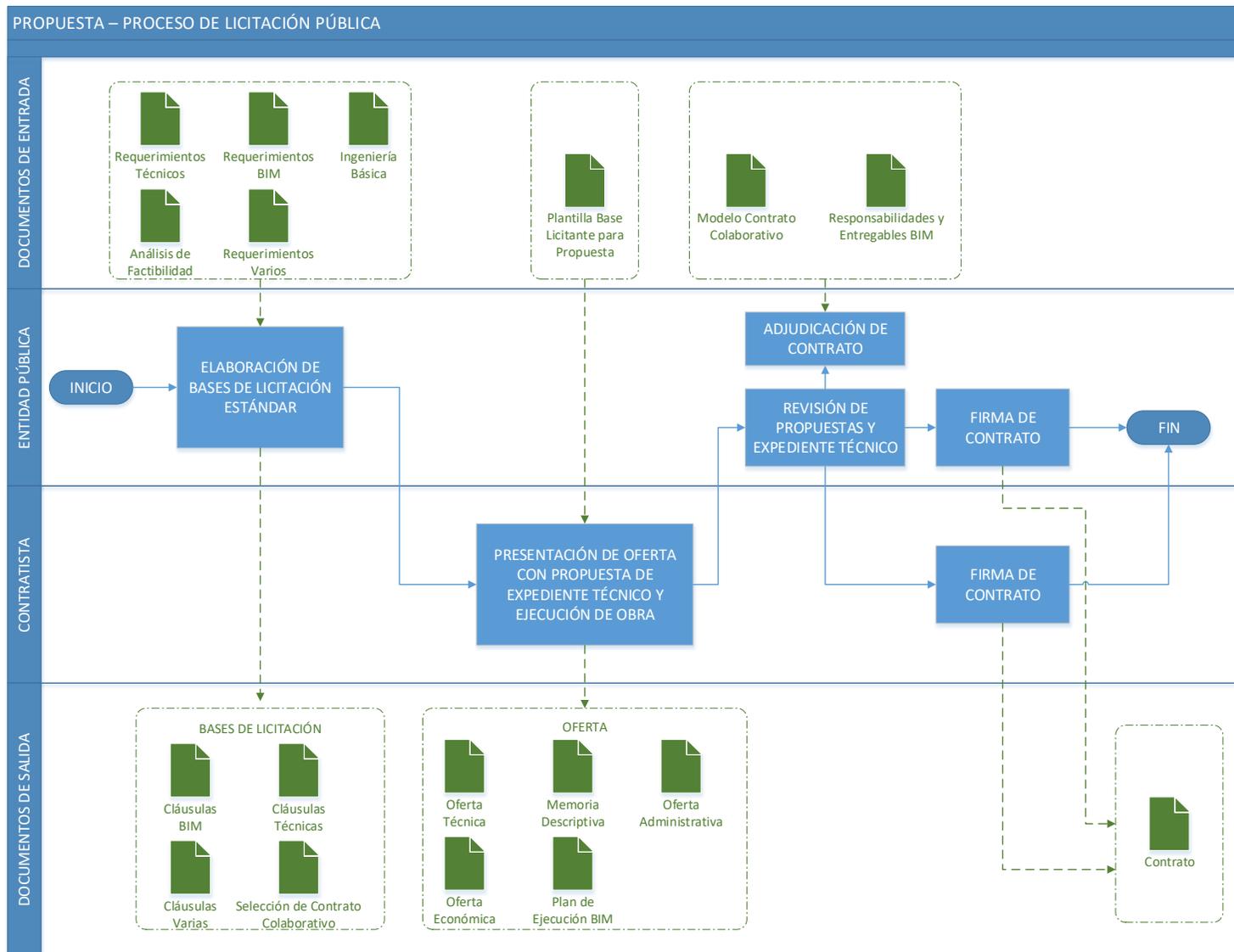


Figura 12. Proceso de Licitación de obra
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Propuesta en el Fase de inversión

Después del análisis del caso de estudio y sus problemáticas encontradas se ve la necesidad de contar con una metodología que unifique el modo de trabajo de todo el sector público, permitiendo mejorar la interoperabilidad y comprensión de los diferentes interesados del proyecto. Esto solo será posible a través de la estandarización del uso de la tecnología BIM, a través de normativas y requerimientos previos en las licitaciones.

Se buscan en primera instancia mejorar el diseño del proyecto, haciéndolo más eficiente, con menores errores de incompatibilidades e interferencias entre especialidades, logrando una compatibilización temprana y ayudando como herramienta de coordinación multidisciplinar.

4.2.1 Requisitos mínimos para la elaboración de un plan de ejecución BIM

Los objetivos planteados son establecidos desde la etapa de pre-inversión del proyecto y van de la mano de funciones y recursos necesarios para su cumplimiento, haciendo indispensable incluir un equipo de trabajo específico para alcanzar estos fines propuestos, así como lograr el entendimiento que BIM es una metodología colaborativa, que requiere de una participación coordinada de todo el equipo de proyecto en todas sus fases. Por lo tanto, es indispensable contar con la capacitación pertinente de todos los profesionales involucrados.

4.2.2 Etapas de intervención

Después de la evaluación de las problemáticas encontradas en el caso de estudio, entendemos que es necesaria la implementación en todo el ciclo de vida del proyecto, sin embargo sabemos que es un proceso a largo plazo por ello creemos que como inicio se hace necesaria la implementación de BIM en las siguientes fases del ciclo de vida de los proyectos, con las siguientes características:

- **En la fase de pre-inversión:** Para los estudios previos, como estrategia de evaluación de las necesidades y objetivos espaciales y funcionales de la infraestructura.

- **En la fase de inversión - Diseño:** Como herramienta de apoyo en la conceptualización del diseño, luego para el anteproyecto y finalmente para la planificación, ejecución y control del diseño de las especialidades del proyecto.
- **En la fase de inversión - Construcción:** Como apoyo visual (esquematación gráfica y virtual) para la planificación y control de la construcción.
- **En la fase de post- inversión:** Como herramienta para obtener los planos as-built, registrando las modificaciones de diseño ejecutadas en obra.

4.2.3 Objetivos BIM

Para poder establecer como implementaremos BIM empezamos determinando los objetivos y requerimientos deseados para alcanzar su éxito (ver tabla N° 8), como objetivos principales BIM, a modo de resumen se busca:

- Facilitar un diseño eficiente de todas las especialidades, que mediante un modelo temprano permita revisiones de cada disciplina y agilice la compatibilización y coordinación multidisciplinaria, que evite retrabajos e interferencias y ayude al planteamiento de soluciones conjuntas.
- Lograr la visualización en un modelo único que mejore el entendimiento del proyecto a todos los interesados y que sirva de herramienta para las coordinaciones y ayude a una toma de decisiones más rápidas, permitiendo un entorno colaborativo.
- Servir de apoyo en el planeamiento y análisis de soluciones y procesos constructivos y en el control de avance de obra.
- Registrar los cambios de ingeniería en todo el proyecto para obtener planos actualizados al finalizar la obra.

Tabla 8. Objetivos y requerimientos BIM

OBJETIVOS Y REQUERIMIENTOS BIM		
ETAPA	OBJTIVOS BIM	DESCRIPCIÓN DEL REQUERIMIENTO BIM
DISEÑO	Análisis de sitio, que logre identificar las condiciones de emplazamiento para un diseño eficiente.	Modelado que identifique las características espaciales del terreno a intervenir y facilite la toma de decisiones de los involucrados.

DISEÑO	Análisis espacial del programa planteado, visualizar el funcionamiento previo de la infraestructura.	Visualización de la programación física espacial del proyecto, evaluar cumplimiento de los requisitos espaciales de diseño solicitados.
DISEÑO	Diseño 3D de la ingeniería de todas las especialidades de construcción.	<ul style="list-style-type: none"> - Modelado de las especialidades de Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Eléctricas, Sanitarias, Mecánicas, Ventilación, Extracción de Aire, Comunicaciones y Data. - Análisis de la ingeniería de cada una de las especialidades, para detectar deficiencias u omisión de información.
DISEÑO	Visualización del diseño arquitectónico, estructural y demás especialidades en un único modelo.	<ul style="list-style-type: none"> - Modelado de las especialidades de Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Eléctricas, Sanitarias, Mecánicas, Ventilación, Extracción de Aire, Comunicaciones y Data. - Análisis de la ingeniería de cada una de las especialidades, para detectar deficiencias u omisión de información. - Obtener información y visualización del proyecto que facilite el entendimiento, la toma de decisiones temprana y la comunicación entre los diferentes interesados.
DISEÑO	Compatibilización integrada en un modelo único, que asegure la coordinación interdisciplinar.	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de la ingeniería de todas las especialidades y su comportamiento conjunto, permitiendo detectar interferencias e incompatibilidades de forma temprana. - Ejecutar la compatibilización de disciplinas, asegurando la coordinación de la solución más coherente para todos. - Disminución del número de posteriores RFI (Requerimientos de información). - Generar cesiones colaborativas con todos los involucrados para encontrar la mejor solución.
DISEÑO - CONSTRUCCIÓN	Manejo de consultas y cambios de ingeniería durante la construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Permite detectar problemáticas de ingeniería durante la fase de ejecución y planeamiento, visualizado posibles alternativas antes de su construcción. Análisis de la ingeniería de todas las especialidades. - Llevar un registro rápido de interferencias y observaciones de diseño. - Uso del NAVISWORK para la detección de las interferencias.

		- Plataforma para gestionar los Solicitudes de Información y observaciones
EJECUCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación de construcción desde conceptualización. - Analizar con detalle los procesos durante la etapa de construcción permitiendo optimizarlos y hacerlos más eficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visualización del proyecto a través de recorridos virtuales, que sirven de guía para el entendimiento en obra. - Uso de imágenes y recorridos virtuales extraídos del modelo como apoyo visual y guía para la toma de decisiones en reuniones multidisciplinarias. - Sectorización en obra, uso del modelo para proponer una sectorización confiable para la construcción. - Generación, simulación y evaluación de planes alternativos de procesos de construcción, que disminuyan imprevistos. - Realizar el seguimiento de obra durante el proceso de construcción.
EJECUCIÓN	Visualización 3D para construcción en obra.	- Visualización del proyecto a través de recorridos virtuales e infografías obtenidas del modelo, que sirven de guía para un mejor entendimiento de obra.
EJECUCIÓN	Organización espacial de la obra, plantear una distribución más eficiente y segura en obra.	Generación de los layout de obra, modelado de la distribución espacial de las facilidades, que permita determinar la gestión de equipos, almacenes, materiales y circulaciones, para mejorar el flujo de trabajo de los equipos y personas.
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Contar con archivos actualizados para la administración posterior del edificio.	Permitir documentar y recopilar todas las modificaciones de ingeniería realizadas durante la ejecución del proyecto.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4 Usos BIM

Después de establecer los objetivos BIM para el proyecto se procede con la identificación de los usos BIM a partir de estos objetivos, a manera de aplicaciones establecidas para el proyecto, de acuerdo a sus características propias y los requerimientos deseados.

Según la literatura más referente como es la Guía de Planificación de Ejecución BIM de la Universidad del Estado de Pennsylvania, existen los usos BIM más comunes y

conviene organizarlos según la fase del proyecto, sea este planeamiento, diseño, construcción y operación y mantenimiento.

A continuación, siguiendo las recomendaciones y en base a lo que buscamos plantear para infraestructuras de salud pública, determinamos los siguientes usos con sus detalles (ver tabla N°9):

Tabla 9. Usos del BIM

USOS BIM			
ETAPA	OBJETIVOS BIM	DETALLE DE USOS BIM	USO BIM
DISEÑO	Análisis de sitio, que logre identificar las condiciones de emplazamiento para un diseño eficiente.	Modelado 3D de condiciones existentes de emplazamiento.	- Visualización 3D - Coordinación 3D
DISEÑO	Análisis espacial del programa planteado, visualizar el funcionamiento previo de la infraestructura.	Autoría de diseño, extracción de documentación gráfica del alcance del proyecto.	- Autoría de diseño - Revisión de diseño - Visualización 3D del diseño - Coordinación 3D
DISEÑO	Diseño 3D de la ingeniería de todas las especialidades de construcción.	- Diseño y visualización 3D de todas las especialidades. - Revisión de diseño multidisciplinar. - Coordinación multidisciplinar 3D y toma de decisiones rápida y conjunta.	- Autoría de diseño - Revisión de diseño - Visualización 3D del diseño - Coordinación 3D
DISEÑO	Visualización del diseño	- Revisión de diseño multidisciplinar.	- Autoría de diseño - Revisión de

	arquitectónico, estructural y demás especialidades en un único modelo.	<ul style="list-style-type: none"> - Visualización 3D del proyecto. - Coordinación multidisciplinar 3D y toma de decisiones rápida y conjunta. - Centralización de información. - Mejorar entendimiento del proyecto. 	<p>diseño</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visualización 3D del diseño - Coordinación 3D - Fuente de información única y común
DISEÑO	Compatibilización integrada en un modelo único, que asegure la coordinación interdisciplinar.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño y visualización 3D de todas las especialidades. - Revisión de diseño multidisciplinar. - Coordinación multidisciplinar 3D y toma de decisiones rápida y conjunta. - Obtención de planos 2D de las especialidades compatibilizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Autoría de diseño - Revisión de diseño - Visualización 3D - Coordinación 3D - Obtención de planos y documentos 2D
DISEÑO - CONSTRUCCIÓN	Manejo de consultas y cambios de ingeniería durante la construcción.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño y visualización 3D en la construcción. - Revisión de diseño multidisciplinar. - Coordinación multidisciplinar 3D, lograr la eliminación de conflictos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visualización 3D - Revisión de diseño - Coordinación 3D

EJECUCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación de construcción desde conceptualización. - Analizar con detalle los procesos durante la etapa de construcción permitiendo optimizarlos y hacerlos más eficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación 3D, gestionar la planificación de obra. - Coordinación multidisciplinar 3D. - Permite replanteo y simulación rápido de alternativas de construcción. - Seguimiento de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación 3D de obra - Coordinación 3D - Replanteo constructivo - Seguimiento de obra
EJECUCIÓN	Visualización 3D para construcción en obra.	<ul style="list-style-type: none"> - Control de avance y planificación 3D. - Generación de infografías (imágenes) y recorridos virtuales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento de obra - Coordinación 3D
EJECUCIÓN	Organización espacial de la obra, plantear una distribución más eficiente y segura en obra.	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación de implementación de obra. - Gestionar la distribución de recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación 3D de obra - Gestión de recursos en obra
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Contar con archivos actualizados para la administración posterior del edificio.	Registro del modelo, representar condiciones físicas del modelo de todas las especialidades, para una entrega As built con los cambios ejecutados.	- As Built

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5 Entregables BIM

4.2.5.1 Entregables del modelo por especialidad

Para poder garantizar el uso BIM planteado y el modelado correcto, primero se deben especificar las disciplinas y los detalles de cada especialidad a ejecutar (ver, Tabla N°10), para luego poder determinar las estrategias y los recursos a utilizar para obtener los resultados esperados.

En todas las especialidades se busca el modelamiento de elementos volumétrico (posición y geometría), contando con su categoría o nombre específico y el nivel al que corresponden y que distinga la disciplina a la que pertenecen.

Tabla 10. Detalle de modelo por especialidad

DETALLE DE MODELO POR ESPECIALIDAD	
ESPECIALIDAD	DETALLE DEL MODELO
Topografía	Modelamiento de niveles propuestos de topografía, caminerías y pavimentación,
Arquitectura	Modelamiento volumétricos de muros, tabiquería, losas, cielo raso, puertas, ventanas, cajas de escaleras y mobiliario arquitectónico adosado.
Equipamiento	Equipamiento y mobiliario médico.
Estructuras	Modelado volumétrico de fundaciones, estructuras verticales (columnas y placas), estructuras horizontales (losas de techo, vigas y losas de piso).
Instalaciones Sanitarias	Agua potable, desagüe, evacuación de aguas pluviales, artefactos sanitarios, salas de máquinas, cámaras de inspección, pozos y ductos mecánicos.
Instalaciones Eléctricas	Modelado de artefactos eléctricos (ubicación de luminarias), bandejas, ductos de barra, tableros eléctricos y equipos mecánicos en salas eléctricas, con escalerillas.
Sistema Contra Incendios	Modelado de cañerías, rociadores, gabinetes, detectores, manifolds y equipos.
Instalaciones	Modelado de ductería y equipos mecánicos (bombas, tableros,

Mecánicas	etc.)
Tuberías (gases)	Modelado de tuberías de los gases de cada especialidad, cajas de válvula, puntos de salida, alarmas y equipos.
Instalaciones de climatización	Modelado de ductos, rejillas, tuberías y equipos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.2 Formato de entrega - Software

Para lograr el funcionamiento de la metodología es necesario definir además de los entregables, un lenguaje común de los mismos y el formato de entrega.

Cabe resaltar como estrategias de coordinación, el generar modelos por cada disciplina e integrarlos en un modelo único de coordinación.

Tabla 11. Formato de entrega - Software

DOCUMENTO	SOFTWARE	EMPRESA	RESPONSABLE ENTREGA	MÉTODO DE ENTREGA
Plan de Ejecución BIM	Adobe (Pdf)		Director de Proyectos BIM	Digital
Modelo Topografía	Autocad Arquitectura - 2D,3D Revit Arquitectura - 3D	Autodesk	Coordinador BIM Arquitectura	Digital
Modelo Arquitectura	Autocad Arquitectura - 2D, 3D Revit Arquitectura - 3D	Autodesk	Coordinador BIM Arquitectura	Digital

Modelo Equipamiento	Autocad Arquitectura - 2D, 3D Revit Arquitectura-3D	Autodesk	Coordinador BIM Arquitectura	Digital
Modelo Estructuras	Revit Estructuras	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Modelo Instalaciones Sanitarias	Autocad MEP Revit MEP	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Modelo Instalaciones Eléctricas	Autocad MEP Revit MEP	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Modelo Sistema Contra Incendios	Autocad MEP Revit MEP	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Modelo Instalaciones Mecánicas	Autocad MEP Revit MEP	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Modelo Tuberías (gases)	Autocad MEP Revit MEP	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Modelo Instalaciones de climatización	Autocad MEP Revit MEP	Autodesk	Coordinador BIM ingeniería	Digital
Visualización de obra (recorridos virtuales)	Navisworks	Autodesk	Coordinador BIM	Digital
Visualización de obra (infografías)	Imágenes (jpg.)	Autodesk	Coordinador BIM	Digital
Cuadro de interferencias	Microsoft Excel		Coordinador BIM	Digital

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.3 Exclusiones

Debemos entender que en nuestro país la metodología BIM aún está en desarrollo y en las entidades públicas recién se está proponiendo reglamentos y regulaciones que la incluyan en sus procesos, por lo tanto cualquier propuesta debe ser progresiva, entendiendo que sus beneficios son a largo plazo, por lo mismo esta propuesta inicial de implementación busca aprovechar los usos y beneficios del modelo como 3D a un nivel de madurez 1, avanzando rumbo a un nivel 2. Debido a esto se hacen algunas exclusiones, que conforme vayamos madurando en su utilización, deberán ir siendo consideradas:

- No se busca mostrar en el modelo el análisis estructural, mecánico, energético de ninguna de las ingenierías.
- Tampoco se extenderá a un modelado 4D (tiempo) o 5D (costo) que obtenga el cronograma y planificación o estimación de costos con el detalle del presupuesto y las valorizaciones; solo se busca usar el modelo para visualizar alternativas de secuencia constructiva y realizar el seguimiento de avance de obra.
- También se excluye su uso como apoyo para la fabricación de equipos y materiales.

4.2.6 Recursos BIM

Las herramientas BIM incrementan y facilitan la comunicación entre los involucrados y permiten obtener un producto final antes de ejecutarlo. El uso de modelos BIM en las diferentes etapas del proyecto generan ahorro de costos y plazo.

4.2.6.1 Recursos humanos:

Para el funcionamiento del Plan de Ejecución BIM se deben detallar la relación de responsables que participan en el proyecto para la implementación, con sus respectivos roles, su interacción con el resto del equipo de obra y como se incorporan en el organigrama. Así también mencionar sus entregables y los aprobadores de los mismos. Por lo tanto, a continuación, se determinan roles y funciones tanto para la entidad promotora (estado), entidad de supervisión (designada por el promotor) y para el contratista seleccionado.

Se debe considerar que adicional al personal específico del desarrollo e implementación

BIM, todo el equipo de proyecto debe estar capacitado para el uso y aprovechamiento de la metodología, tanto en el área oficina técnica (ingeniería y control de proyectos), como en el área de construcción con lo cual se podrá alcanzar los objetivos y usos BIM propuestos.

Dentro de la propuesta específica se plantean dos responsables por parte de la entidad promotora, una directa y otra a cargo de la supervisión, que garanticen el cumplimiento de los requerimientos solicitados y del plan aprobado; adicional a ello se plantean tres cargos a responsabilidad del contratista seleccionado, uno como gerencia y dos que tendrán el manejo directo del modelo, uno como coordinación general y otro para el modelo específico.

a. Jefe de proyectos BIM – Entidad (cliente):

- Aprobación del Plan de Ejecución BIM y sus actualizaciones.
- Garantizar el cumplimiento del Plan de Ejecución BIM aprobado.
- Participar de las sesiones colaborativas para la aprobación del diseño del proyecto.

b. Coordinador BIM de proyecto - Supervisión:

- Monitorear y supervisar el cumplimiento específico del plan de implementación BIM propuesto por el contratista.
- Participar de las sesiones colaborativas para la aprobación del diseño del proyecto, avance y programación semanal de obra.
- Revisar y aprobar el cumplimiento del programa en obra.
- Supervisar la calidad de los modelos entregados.

c. Director del Proyectos BIM - Contratista:

- Desarrollar el alcance y los protocolos BIM de acuerdo a los requisitos de licitación del cliente.
- Desarrollar el Plan de Ejecución BIM, definiendo los objetivos y usos BIM.
- Gestionar la transición del proyecto al promotor o cliente y a la supervisión, garantizando el flujo de información entre todos los agentes involucrados.
- Seleccionar, conformar y liderar el proyecto.

- Responsable de la gestión y control del proyecto.

d. Coordinador de diseño BIM - Contratista:

- Será el responsable del equipo de diseño y modelado, encargado de coordinar las entregas de ingeniería de todas especialidades y el modelado de las mismas.
- Tendrá la comunicación directa con los proyectistas, el jefe de proyectos y el director de proyecto.
- Responsable de la implementación BIM de la empresa contratista.
- Revisión de la calidad y aprobación de los modelos de las diferentes especialidades, verificando interferencias e incompatibilidades, de las cuales realizará las consultas de ingeniería y hará el seguimiento para su levantamiento conjunto, asegurando la compatibilidad del modelo.
- Responsable de la integración del modelo 3D de todas las especialidades.
- Dirigir las reuniones de ICE de coordinación de ingeniería multidisciplinarias y de coordinación BIM.
- Encargado de capacitar en el uso de los modelos y de la metodología BIM a las demás áreas del proyecto.
- Llevar el control del avance en la implementación de la metodología, respecto al plan establecido.
- Apoyo en el uso de la metodología para garantizar un proceso de coordinación BIM constante.

e. Modelador BIM - Contratista:

- Generación y manejo del modelo de todas las especialidades y su interoperabilidad en un modelo único, deberá participar desde las etapas conceptuales de diseño.
- Inclusión y modificación del modelo de acuerdo a todos los cambios aprobados de ingeniería de cada especialidad y su revisión constante para detectar colisiones y poder entregar un modelo As-built actualizado.
- Soporte a todas las áreas para la visualización, simulación y control de obra.

- Se plantean 2 modeladores por el volumen de obra, uno será responsable de las especialidades de arquitectura y estructuras y el otro de las instalaciones (MEP).
- Proporciona información para todas las disciplinas involucradas utilizando herramientas de software BIM.
- En base al reporte de campo identificará y reportará el avance y cumplimiento de obra.

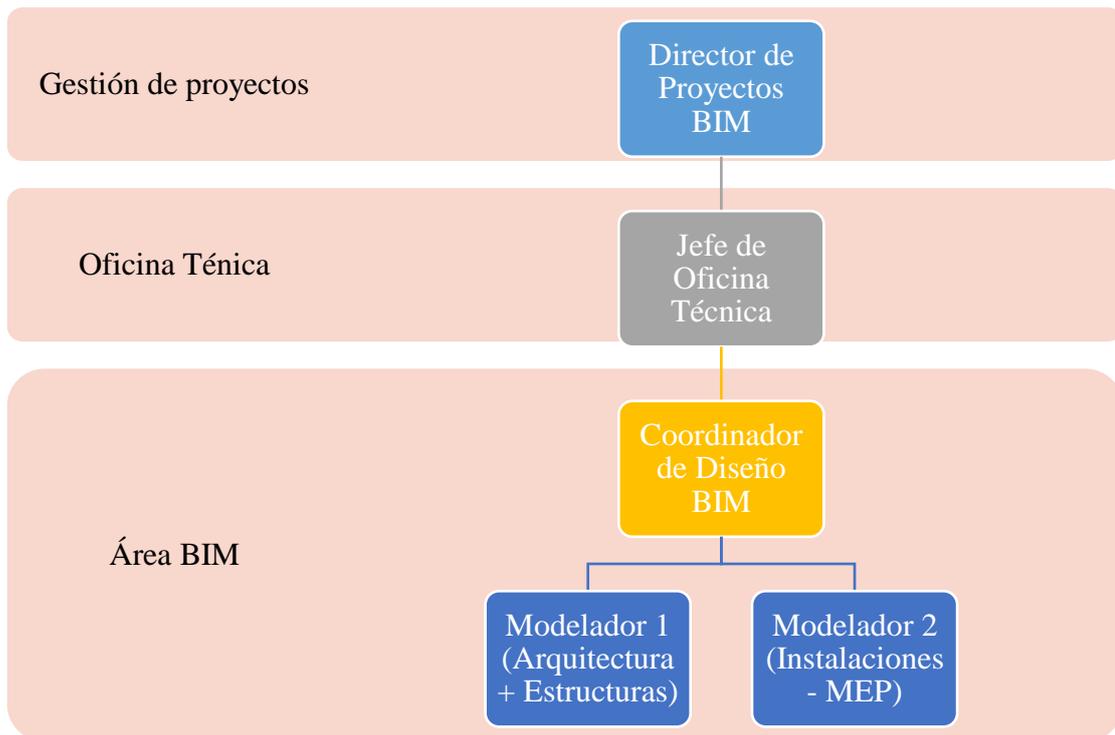


Figura 13. Organigrama para el contratista seleccionado
Fuente: Elaboración Propia.

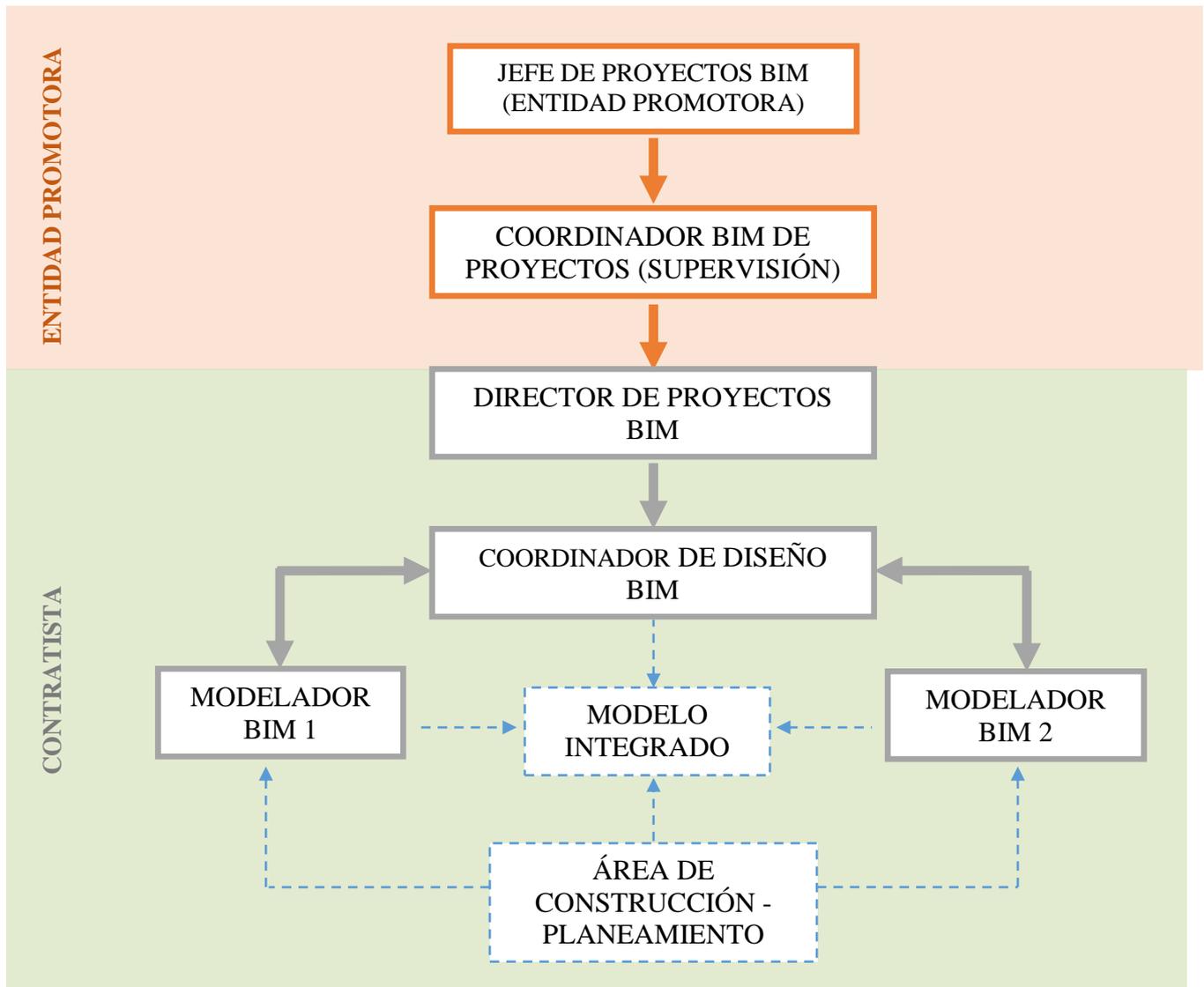


Figura 14. Organigrama general con interacciones.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.6.2 Recursos Materiales

a. Software:

Se menciona el software recomendado y versión recomendada para la producción y entrega de los modelos, así como también para la visualización y coordinaciones multidisciplinarias propuestas (ver tabla N°12).

Tabla 12. Software propuesto por disciplina

SOFTWARE PROPUESTO POR DISCIPLINA					
ESPECIALIDAD	SOFTWARE MODELADO	EMPRESA	VERSION	FORMATO	DESCRIPCIÓN
Topografía, Equipamiento y Arquitectura	AutoCAD Architecture	Autodesk	AutoCAD 2018	Archivos de datos nativos (. dwg)	Software de modelado de diseño CAD en 2D y 3D.
	Revit Arquitectura (el software es único para todas las especialidades)	Autodesk	Autodesk Revit 2018	Archivos de datos nativos (. rvt)	Software BIM multidisciplinario para modelado de diseños coordinados de construcción.
Estructuras	AutoCAD, Civil 3D	Autodesk	AutoCAD 2018	Archivos de datos nativos (. dwg)	Software de modelado de diseño CAD en 2D y 3D.
	Revit Structure (el software es único para todas las especialidades)	Autodesk	Autodesk Revit 2018	Archivos de datos nativos (. rvt)	Software BIM multidisciplinario para modelado de diseños coordinados de construcción.
Instalaciones Sanitarias, Instalaciones Eléctricas, Sistema Contra Incendios, Instalaciones Mecánicas, Tuberías (gases) e Instalaciones de climatización	AutoCAD MEP	Autodesk	AutoCAD 2018	Archivos de datos nativos (. dwg)	Software de modelado de diseño CAD en 2D y 3D.
	Revit MEP (el software es único para todas las especialidades)	Autodesk	Autodesk Revit 2018	Archivos de datos nativos (. rvt)	Software BIM multidisciplinario para modelado de diseños coordinados de construcción.
Visualización y recorridos virtuales	Navisworks	Autodesk	Autodesk Navisworks Manage	Formato nativo (.nwd o .nwf)	Software para la revisión de proyectos, permite la simulación del diseño en un visor 3D y además permite el análisis 4D y 5D.

Fuente: Elaboración Propia.

b. Hardware:

En este apartado se establece el hardware mínimo recomendado para el contratista, quien será responsable de la ejecución del modelo, la visualización del mismo y de llevar a cabo las reuniones y sesiones ICE colaborativas, que permitan la ejecución efectiva del Plan BIM.

Este hardware será el indicado para el equipo específico BIM (ver Tabla N°13), cabe resaltar que se debe considerar que todo el equipo de obra debe ser capaz de ver el modelo, sobre todo las áreas de construcción y de control de proyectos, que directamente usan el modelo para una mejor comprensión de obra y para mejorar su gestión. Así también, el software será el indicado para el equipo específico BIM (ver Tabla N°14).

Tabla 13. Características de hardware

CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE			
INVOLUCRADO	EQUIPOS	VISUALIZACIÓN	SOFTWARE LICENCIADO
Director de Proyectos BIM	01 ordenador de capacidad suficiente para el funcionamiento del software, con las características de la tabla N°12	01 monitor de 17"	AutoCAD, Revit y Navisworks
Coordinador de diseño BIM	01 ordenador de capacidad suficiente para el funcionamiento del software, con las características de la tabla N°12	01 monitor de 17"	AutoCAD, Revit y Navisworks
Modelador BIM (arquitectura y estructuras)	01 ordenador de capacidad suficiente para el	02 monitores de 17" que faciliten el trabajo de modelado y	AutoCAD, Revit y Navisworks

	funcionamiento del software, con las características de la tabla N°12	visualización.	
Modelador BIM (instalaciones)	01 ordenador de capacidad suficiente para el funcionamiento del software, con las características de la tabla N°12	02 monitores de 17” que faciliten el trabajo de modelado y visualización.	AutoCAD, Revit y Navisworks

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14. Características operativas del hardware

CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE HARDWARE					
SOFTWARE	CPU	MEMORIA RAM	TARJETA DE VIDEO	SISTEMA OPERATIVO	OTROS
AutoCAD 2018, Autodesk Revit 2018, Autodesk Navisworks Manage	Procesador Intel Pentium 4 o AMD Athlon 3.0 GHz o equivalente. Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible.	- Memoria RAM: Mínimo 8 GB de RAM. - Espacio: 15GB de espacio en el disco para la instalación.	Gráficos avanzados: Tarjeta gráfica de 4 GB de memoria de vídeo como mínimo.	Microsoft Windows 10, Versión de 64 bits	Conexión a Internet para registro de licencia y descarga de componentes obligatorios.

Fuente: Elaboración Propia.

c. Recursos físicos

Se establece la necesidad de un espacio para la coordinación, tanto para las sesiones ICE, como para las reuniones de programación y control de obra, de

tal manera que permita un ambiente propio para la colaboración, donde se reduzca los tiempos en la toma de decisiones, con el apoyo visual del modelo.

Para la implementación de la sala de reuniones se requerirá de lo siguiente:

- 02 ecrans y 02 proyectores.
- 01 CPU con el software BIM.
- Mobiliario de la sala.

4.2.6.3 Herramientas de coordinación:

Es necesario para asegurar el funcionamiento de una metodología colaborativa, el establecimiento de reuniones multidisciplinarias obligatorias, que deberán contar con actas y una programación establecida de las mismas, con duración y frecuencia.

Se plantean como mínimo las siguientes:

- Reunión de Constructabilidad, permite el entendimiento de la obra y con ello plantear alternativas y secuencias visibles en 3D, para garantizar soluciones efectivas y el entendimiento por todos los involucrados.
- Sesión ICE, sesiones de ingeniería concurrente (Integrated for Concurrent Engineering), en las diferentes etapas.
- Reunión de Interferencias, sesiones colaborativas multidisciplinarias para encontrar soluciones conjuntas y efectivas.
- Reunión de programación semanal, apoyo visual para validar el avance y visualizar rápidamente el programa y estrategia constructiva proyectada.
- Uso del modelo para la visualización en un entorno colaborativo de todo el proyecto.

4.2.7 Mapeo de procesos incluyendo BIM en la Etapa de Inversión

El mapeo de procesos consiste en determinar cómo gestionar los procesos dentro de la etapa de Inversión bajo la metodología BIM, como se ejecutará su implementación para lograr la integración de los procesos donde se ha planteado un uso BIM, permitiendo en primera instancia un diseño eficiente y compatibilizado y además a través de los modelos colaborar en el desarrollo de planeamiento, propuesta de soluciones constructivos y control de avance.

Como primera propuesta para el mapeo de procesos se analizarán las entradas y salidas de cada uno de los procesos de las actividades propuestas en los Usos BIM (Ver Tabla N° 15).

a. Entradas y salidas por proceso

Tabla 15. Entradas y salidas procesos

ENTRADAS	PROCESO	SALIDA
<ul style="list-style-type: none"> - Planos a detalle por especialidad (arquitectura, estructuras e instalaciones). 	<p style="text-align: center;">MODELADO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelado de los elementos de construcción en función de las especificaciones de diseño. - Construcción de modelo BIM por especialidad. - Integración de modelo único - Análisis del modelo BIM a través de herramientas de navegación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo BIM preliminar por especialidad e integrado. - Identificación de problemas que podrían aparecer en la construcción y generación de requerimientos de Información. - Consultas de ingeniería por especialidad. - Identificación de interferencias entre especialidades. - Solución de Incompatibilidades.
<ul style="list-style-type: none"> - Consultas de ingeniería por especialidad. - Identificación de interferencias entre especialidades. - Incompatibilidades 	<p style="text-align: center;">REVISIÓN DE INGENIERÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coordinación conjunta con todos los especialistas y absolución de observaciones e interferencias. - Es un proceso iterativo y constante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Planos resueltos sin incompatibilidades por especialidad. - Modelo 3D coordinado por especialidad y único e integrado sin observaciones.

<ul style="list-style-type: none"> - Diseño y planos por disciplina. - Modelo BIM único y coordinado. 	<p style="text-align: center;">PLANEAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estudio del contexto y del modelo. - Análisis y estudio de la constructabilidad. - Determinación de la secuencia y métodos constructivos alternativos. - Sectorización constructiva. - Definición y ubicación de equipos y materiales. - Definición y ubicación de acopios y almacenes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visualización detallada de la secuencia constructiva por sectores y etapas. - Visualización de la secuencia por especialidad. - Análisis de áreas críticas, por congestión de especialidades y metrados. - Visualización y mapeo de la ubicación de equipos, acopios y almacenes. - Apoyo en las reuniones de programación semanal interdisciplinaria.
<ul style="list-style-type: none"> - Modelo único e integrado con todas las especialidades. - Planos y detalles por disciplina compatibilizados. - Secuencia constructiva detallada por actividades. - Mapeo de la ubicación de equipos, acopios y almacenes. 	<p style="text-align: center;">CONSTRUCCIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> - Obtención de información del modelo BIM para la construcción, mediante el uso de las herramientas de visualización. - Visualización de consultas de ingeniería relacionadas al proceso constructivo, requerimientos de información y solicitud de cambios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absolución de consultas de ingeniería y construcción. - Actualización del modelo y los planos detallados con la absolución de consultas, cambios de ingeniería y requerimientos de información según lo ejecutado en obra. - Visualización y entendimiento de los planos y estructuras a construir. - Layout de equipos. - Visualización de la programación semanal. - Visualización del avance semanal. - Control y

		<p>verificación de lo ejecutado vs lo planeado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coordinación multidisciplinaria. - Coordinación con los proyectistas, clientes y proveedores o subcontratistas. - Análisis y visualización de la constructabilidad, para la identificación de mejoras constructivas y de eficiencia, para la optimización de los procesos. - Actualización del modelo BIM.
<ul style="list-style-type: none"> - Modelo único e integrado con todas las especialidades. 	<p style="text-align: center;">CONTROL DE AVANCE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificación y mapeo del avance diario de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Control del avance real de la obra, diario, semanal y mensual. - Evaluación y control gráfico de lo programado vs lo ejecutado. - Generación de reportes de avance por actividad.

Fuente: Elaboración Propia.

b. Mapa de Procesos de los usos BIM propuestos

A continuación, en base a las entradas y salidas consideradas se plantea una propuesta de Mapa de Procesos que detalla los Usos BIM, sus responsables y los documentos generados en cada proceso como entregables para el intercambio de información (Ver Figura N° 15).

MAPA DE PROCESOS NIVEL 1 : PROCESO DE PLANEAMIENTO DE EJECUCIÓN BIM

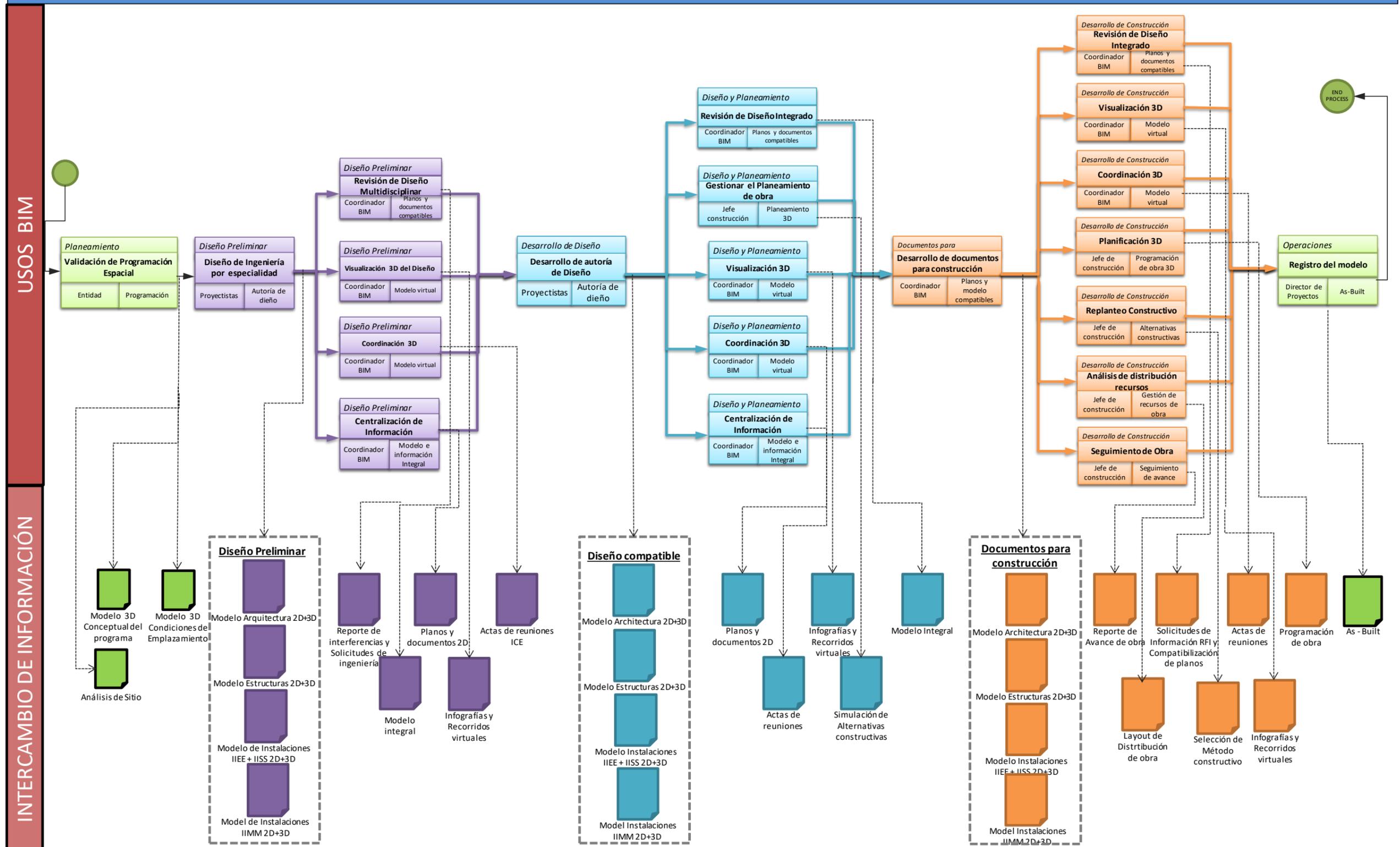


Figura 15. Proceso de planeamiento de ejecución BIM. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.8 Objetivos y Herramientas Lean propuestas

Como se vio en la teoría, la filosofía Lean Construction es un marco de trabajo que va de la mano con la metodología BIM, buscando eliminar o reducir las pérdidas y optimizar los procesos y facilitar los flujos de trabajo durante la fase de inversión en la etapa de ejecución.

Habiendo identificado las problemáticas resaltantes del caso de estudio, en el capítulo de diagnóstico, se vio necesario la implementación de herramientas Lean enfocándonos en la gestión de las etapas de planeamiento y construcción, con el propósito de mejorar el proceso constructivos y la calidad, logrando reducir los tiempos de entrega, disminuir los costos de ejecución y mejorar la productividad; todo esto a través de una planificación anticipada y con alto compromiso del equipo, promoviendo la mejora continua y el aprendizaje.

La implementación de Lean va acompañado de un sistema de planificación y control denominado Last planner, que plantea cambios en la manera de planificar y controlar la construcción, buscando contar con los recursos necesarios y a tiempo. Para lo cual a continuación se plantean objetivos en cada etapa, con su alcance y las herramientas para su implementación (ver tabla N°16 y Figura N°16):

Tabla 16. Objetivos y herramientas Lean Construction

TABLA DE OBJETIVOS Y HERRAMIENTAS LEAN CONSTRUCTION			
ETAPA	OBJETIVO	ALCANCE	HERRAMIENTA
DISEÑO	Lograr un diseño eficiente que vaya acorde a los requerimientos del cliente, para lo cual se iniciará planificando la elaboración del diseño.	Se busca la sinergia de todos los interesados del proyecto, el proyectista, el contratista, el constructor y el cliente (entidad pública).	Programación de reuniones ICE con todos los interesados que validen los requerimientos del proyecto.
DISEÑO	Hacer revisiones multidisciplinarias del diseño, que permitan eliminar incompatibilidades y lograr un diseño eficiente para todo el equipo de proyecto.	Se busca un diseño validado y aprobado por todas las partes, para que no existan interferencias o cambios en el proceso de construcción.	- Programación de Reuniones ICE con todas las especialidades. - Uso de BIM para obtener un modelo 3D integrado.

			<ul style="list-style-type: none"> - Registro de incompatibilidades. - Realizar el control de cambios y llevar un registro del mismo.
CONSTRUCCIÓN - PLANEAMIENTO	Mejorar la gestión de la construcción, a través de una eficiente planificación y organización de espacios en obra, que permita una adecuada disposición y localización de recursos (almacenes, acopios, accesos, etc.), disminuyendo así las pérdidas y esperas por desplazamientos.	Analizar y hacer un estudio de las actividades y sus movimientos, para entender los flujos de materiales, equipos y personas, para de esta manera asignar los espacios de trabajo, de almacenamiento y de tránsito que sean necesarios, holgados y que permitan un correcto y seguro desplazamiento y transporte de materiales y equipos.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso del Modelo 3D para el estudio de flujos y distribución espacial. - Realizar un Layout general de la obra.
CONSTRUCCIÓN - PLANEAMIENTO	Disminuir la variabilidad de la planificación y construcción a través de un balanceo de recursos, que busca producir porciones similares y constantes en periodos iguales, asegurando una producción homogénea, aumentando la eficiencia del sistema e implementando una curva de aprendizaje del personal, al optimizar las actividades repetitivas.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar el control de las actividades estableciendo paquetes de trabajo más pequeños (sectores), que puedan ser repetitivos que permitan saber con exactitud el avance programado versus el avance real obtenido periódicamente (usualmente diario). - Dimensionar las diferentes cuadrillas para afrontar el trabajo de cada sector y secuenciar los trabajos repetitivos unos tras otros, encontrando una curva de aprendizaje que busca la especialización y la reducción de los tiempos de ejecución del trabajo. - Esta secuencia repetitiva permita establecer un 	<ul style="list-style-type: none"> - Sectorización constructiva de las actividades incidentes. - Secuenciar y dar tiempos con un Tren de actividades según la sectorización. - Dimensionamiento de cuadrillas de acuerdo al tren de actividades. - Establecer Buffers en la planificación intermedia, como respaldo para evitar el incumplimiento. - Uso de BIM para la simulación rápida de las alternativas de construcción.

		calendario de rotación de materiales (en el caso de obra civil, serían los encofrados, andamios y equipos como grúas)	
CONSTRUCCIÓN - PLANEAMIENTO	Incrementar la confiabilidad de la planificación, reduciendo la variabilidad, aplicando herramientas de la Metodología Last Planner System para el planeamiento y para el control y seguimiento de avance en cada nivel de planificación, es decir, a corto, mediano y largo plazo, ayudando así a cumplir la meta de ejecutar todo el trabajo planificado, a través del compromiso del equipo directo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar programaciones a mediano y corto plazo (detalla y precisa las actividades que se van a ejecutar, incluyendo las actividades contributorias) buscando proteger el Plan Maestro o Cronograma Macro. - Hacer un análisis de restricciones de todas aquellas actividades que se van a programar en el Lookahead, en el horizonte de 3 o 4 semanas determinado, de esta manera convertir todo lo que se puede hacer, en lo que se va a ejecutar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Largo plazo: Revisión del programa maestro (proyecto macro) con el detalle de hitos principales y recursos críticos. - Mediano plazo: Lookahead o planificación intermedia (programación a tres o cuatro semanas). - Corto Plazo: Planificación semanal o diaria (últimos planificadores).
CONSTRUCCIÓN - CONTROL Y SEGUIMIENTO		<ul style="list-style-type: none"> - Se busca medir la efectividad en la programación semanal propuesta, verificando el cumplimiento del plan (PPC), evaluando el porcentaje de actividades completadas e identificando las causas de no cumplimiento, a fin de evitarlas a futuro. - Además, se propone evaluar las restricciones para saber porque no fueron levantadas. - Estos controles y 	<p>Reuniones semanales de coordinación y programación y de seguimiento del avance, con la siguiente rutina:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Análisis y revisión del indicador de Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y causas de incumplimiento semanal. b) Registrar y llevar un historial de las razones de no cumplimiento y

		<p>verificaciones permiten identificar los problemas, tomar acción y resolverlos sin dejar que afecten el éxito del proyecto, reajustando el planeamiento a mediano plazo sin afectar los hitos y entregas parciales, para cumplir los plazos establecidos.</p>	<p>sus responsables.</p> <p>c) Plantear medidas correctivas y planes de acción que corrijan la programación.</p> <p>d) Identificación y análisis de restricciones, con asignación de responsables y tiempos de levantamiento para su liberación de acuerdo al Lookahead.</p> <p>e) Después del paso anterior se liberan actividades y se determina la programación del Lookahead y del plan semanal.</p>
CONSTRUCCIÓN -CONTROL Y SEGUIMIENTO	<p>Contar con indicadores que midan los resultados del proyecto obtenidos en cuanto a los costos, plazo, mano de obra, equipos y calidad, que midan el desempeño del proceso constructivo.</p>	<p>Medir la variación del costo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reuniones internas para la revisión de costos, deben ser quincenales. - Variación = $\frac{\text{Costo real}}{\text{costo presupuestado}}$
		<p>Medir la variación del plazo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Llevar un control semanal, establecer reuniones semanales y presentar informe. - Calculo de Variación = $\frac{\text{Duración Actual}}{\text{Duración Programada}}$
		<p>Medir la eficiencia de la mano de obra.</p>	<p>Llevar un control semanal y presentar Informe de las horas reales consumidas vs las horas proyectadas, se puede usar los siguientes indicadores:</p>

			<p>a) Cálculo de variación = $\frac{HH \text{ real}}{HH \text{ Planeada}}$</p> <p>b) Cálculo de variación = $\frac{\text{Costo de mano de obra real}}{\text{costo de mano de obra presupuestado}}$</p>
		Medir la eficiencia de los equipos.	<p>Llevar un control semanal y presentar Informe de las horas reales consumidas vs las horas proyectadas, se puede usar los siguientes indicadores:</p> <p>a) Cálculo de variación = $\frac{HM \text{ real}}{HM \text{ Planeada}}$</p> <p>b) Cálculo de variación = $\frac{\text{Costo de equipos real}}{\text{costo de equipos presupuestado}}$</p>
CONSTRUCCIÓN - ADQUISICIONES	<p>Garantizar la disponibilidad y cantidad de todos los recursos para la ejecución de la obra, sean materiales, herramientas o equipos.</p> <p>Examinando los plazos de las actividades que se requiere ejecutar para conseguirlos a tiempo.</p> <p>Controlar la adquisición de recursos, para que estos estén completos y cumplan con las especificaciones solicitadas.</p>	<p>- Se necesita contar con un planeamiento de adquisiciones, mediante un cronograma de recursos que vaya acorde con la ejecución de obra.</p> <p>- Según el tipo de obra se debe establecer un "lead time" o tiempo máximo de entrega para cada tipo de material y equipo (regular y crítico), de esa manera medir el tiempo de atención de los requerimientos, desde la solicitud, la emisión de la orden de compra, hasta la entrega física en obra.</p> <p>- Medir la anticipación</p>	<p>- Generar un Lookahead o cronograma de materiales y equipos críticos.</p> <p>- Fijar Lead Time de materiales y Lead Time de equipos, regulares y críticos.</p> <p>- Llevar el control de tiempo del ciclo de procura de materiales y equipos.</p> <p>- Contar con un formato de evaluación de proveedores y subcontratistas, para medir su desempeño.</p>

		<p>con que se hacen los requerimientos, para lanzar alertar y evitar retrasos.</p>	<p>- Llevar un Registro de Inspecciones y realizar auditorías e inspecciones técnicas para verificar el control de calidad de los equipos y materiales, en fábrica, al ser recibidos y puestos en campo. Usar indicadores:</p> <p>a) Número de pedidos urgentes/Tot al de solicitudes</p> <p>b) Medir el tiempo entre la fecha de solicitud vs la fecha solicitada en obra</p>
--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia.

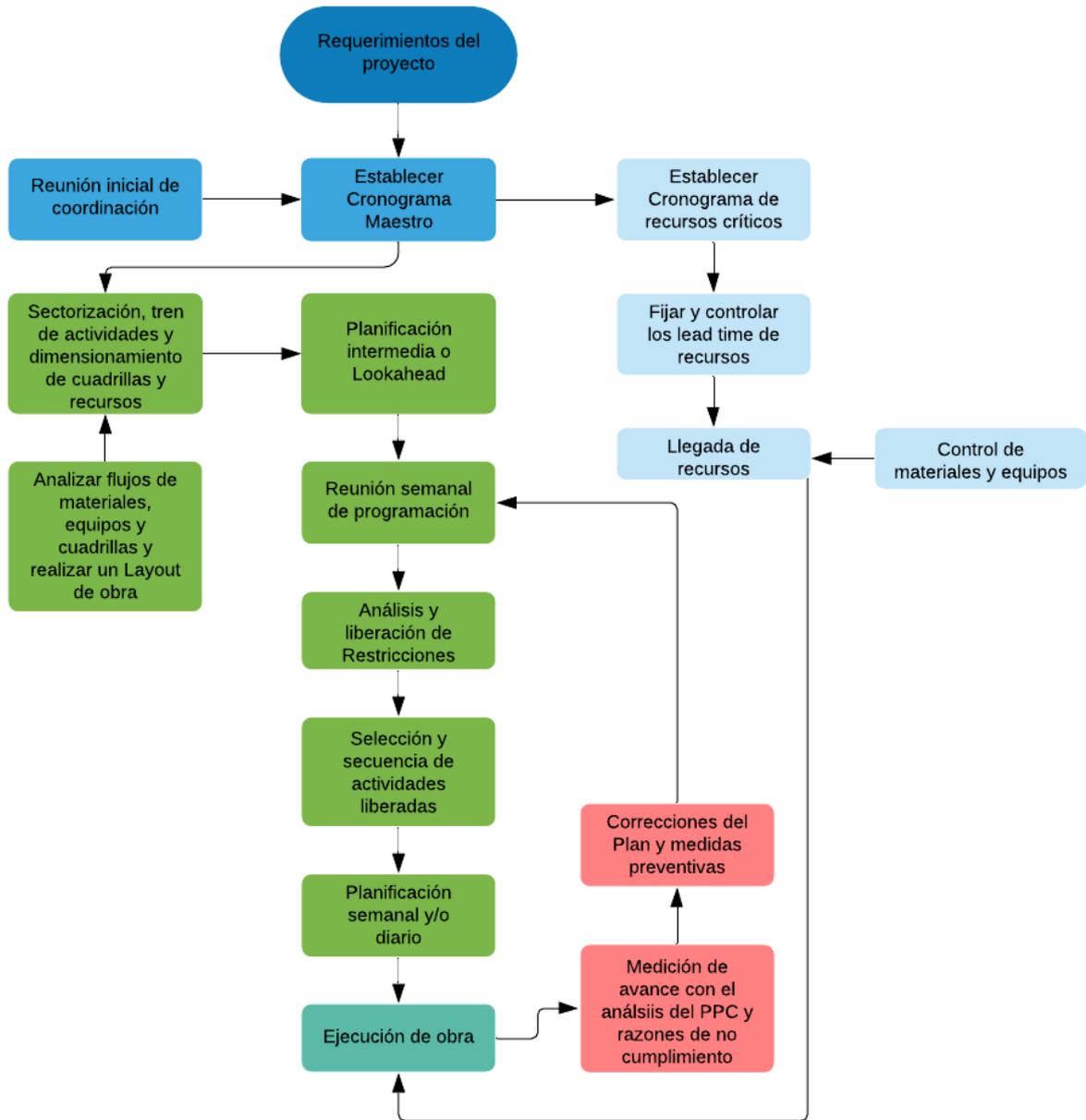


Figura 16. Flujograma de Objetivos y herramientas Lean Construction
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.9 Programa de Capacitaciones para implementar Lean Construction

Después de establecer los objetivos y herramientas a implementar, es necesario entender que se requiere capacitar al equipo del proyecto para garantizar la implementación y el funcionamiento de las herramientas planteadas. Por lo tanto, se establece un programa de capacitaciones, que deberán realizarse antes de iniciar la ejecución de la obra (ver tabla N°17).

Tabla 17. Programa de capacitaciones

PROGRAMA DE CAPACITACIONES		
TEMA	PARTICIPANTES	DURACIÓN
Introducción de Lean Construction y sus beneficios.	Todo el equipo de proyecto, proyectistas, equipo de construcción, incluyendo contratistas principales y capataces generales.	2 horas
Metodología para la implementación del Lean Construction P	Todo el equipo de proyecto, proyectistas, equipo de construcción, incluyendo contratistas principales y capataces generales.	2 horas
Explicación de las Herramientas en cada etapa y a cada equipo responsable	Equipo de diseño, equipo de construcción (incluyendo subcontratistas principales y capataces), equipo de control de proyectos y equipo de logística.	2 horas por cada equipo

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.10 Programa de reuniones propuestas

De acuerdo a los objetivos y herramientas planteadas se establecieron reuniones necesarias para garantizar la implementación y funcionamiento de Lean Construction (ver tabla N°18).

Tabla 18. Programa de reuniones

PROGRAMA DE REUNIONES		
TIPO DE REUNIÓN	DESCRIPCIÓN	PERIODICIDAD PROPUESTA
Reuniones ICE de ingeniería	Reuniones ICE: Reuniones de coordinación y solución de ingeniería multidisciplinaria.	Después de la revisión de cada disciplina
Planeación a largo plazo (General)	Reuniones de planificación táctica y macro: Se establecen los hitos y aspectos claves del proyecto, definiendo actividades principales, fechas, recursos y costos. Reunión general para establecer la gestión de recursos críticos.	1 única vez, al inicio de proyecto
Reuniones de logística	Reuniones periódicas para la revisión del status de los requerimientos.	Quincenal

Reuniones de programación Lookahead (mediano plazo)	Reuniones de planeación intermedia: Son el complemento de la planificación macro, donde se detallan las actividades a realizar, incluyendo tareas contributorias y analizando las restricciones y evaluando el rendimiento de la semana terminada (PPC y razones de incumplimiento)	Semanal
Reuniones de programación a corto plazo (programa semanal y/o diaria)	Estas reuniones son internas de cada disciplina de construcción con sus cuadrillas, es importante que en estas reuniones se asigne el detalle de los recursos y se realicen planes de contingencias para prevenir las restricciones que cada actividad pueda tener.	Semanal y Diaria (de ser el caso)

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Diagrama de flujo propuesto para el Proceso de Ejecución de Obras Públicas

En base al plan de implementación de BIM y Lean Construction se propone mejoras en los procesos de diseño y construcción (Ver Figura N°17) durante la ejecución de obras públicas. Incluyendo la necesidad de presentar en el expediente técnico un Plan de Ejecución BIM y dar inicio al modelado, para luego antes de iniciar el proceso de construcción, hacer una revisión de ingeniería de todas las especialidades, mediante las sesiones ICE (Ver Figura N°18) y considerar durante la construcción procesos de programación, control y revisión del avance.

FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE OBRA PÚBLICA – PROPUESTA

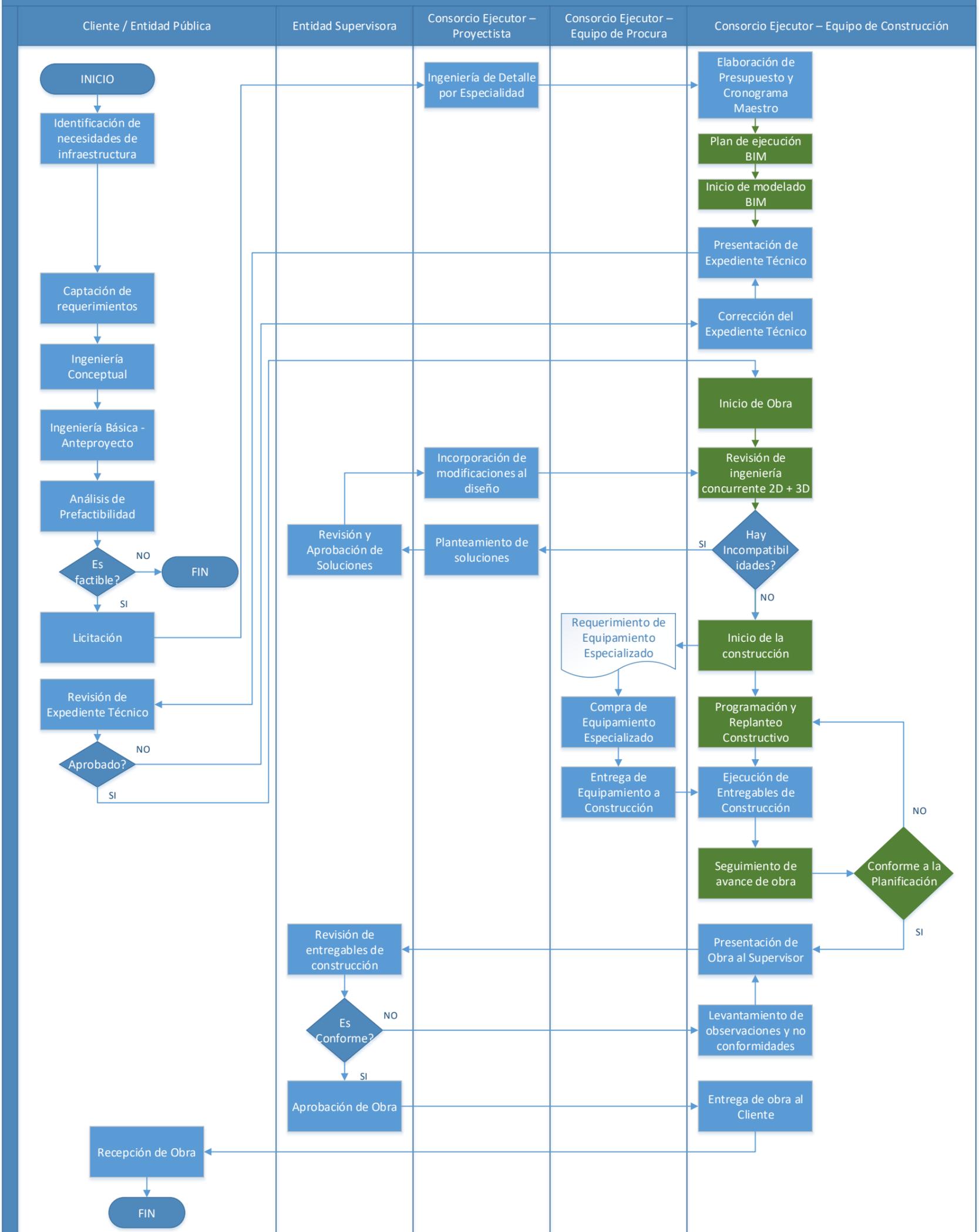


Figura 17. Diagrama de flujo propuesto para el Proceso de Obras Públicas
Fuente: Elaboración Propia.

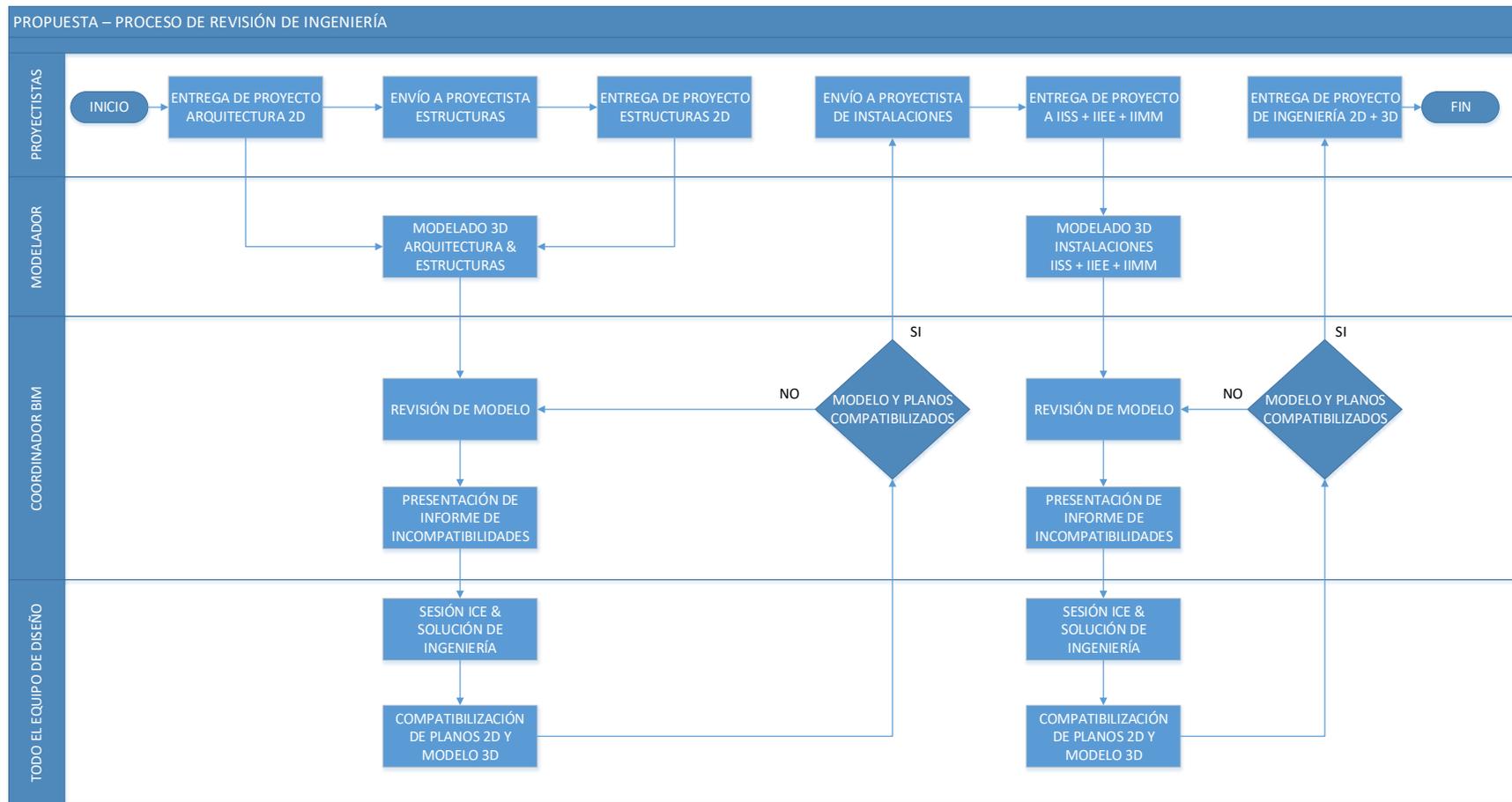


Figura 18. Diagrama de flujo de Propuesta para Proceso de Revisión de Ingeniería
Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Costos de la implementación

Como ya habíamos mencionado en el área contratista es indispensable contar con un BIM Manager o director dentro de la empresa, quien acompañado de un coordinador de diseño BIM del proyecto dirigen la implementación y control del modelo, además directamente para el modelamiento BIM se cuenta con 2 modeladores, quienes juntos llevan a cabo las coordinaciones del modelo y apoyan en las reuniones ICE y promueven el trabajo colaborativo.

Los costos están en base a la duración estimada del proyecto seleccionado, que es de 14 meses para lo cual consideraremos el costo de personal, equipos para el modelamiento, las licencias y el mantenimiento de los equipos. Es importante mencionar que los modeladores deben participar desde la conceptualización, de acuerdo al área de proyecto el tiempo aproximado para el modelado es de 2 a 3 meses (Ver Tabla N°19 y 20).

Se desagrega de la siguiente manera:

- 04 ordenadores de capacidad suficiente para el funcionamiento del software, que son para el equipo BIM, el coordinador, el director BIM y los dos modeladores.
- Adquisición de software Revit y Navisworks con certificación y adquisición de 2 monitores más grandes que faciliten el trabajo de modelado y visualización.

El recurso humano y en los costos únicos anuales de implementación, se está considerando lo siguiente:

- La contratación de un modelador de arquitectura y estructuras y un modelador de instalaciones, durante toda la duración del proyecto.
- Considerar la contratación del BIM manager o director y un coordinador de diseño de proyecto también durante toda la duración del proyecto.
- Además, se programan realizar 2 capacitaciones grupales para todas las áreas del proyecto.
- Capacitación Revit y Naviswork para el equipo BIM.

Tabla 19. Características y costos de adquisición de software

SOFTWARE	CARACTERÍSTICAS	SUSCRIPCIÓN EN AURODESK	CARACTERÍSTICAS
 AUTOCAD	Software de modelado de diseño CAD en 2D y 3D.	- \$1,260 por año - \$3,400 por 3 años	- CPU: Procesador Intel Pentium 4 o AMD Athlon 3.0 GHz equivalente. Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible. - Memoria: Mínimo 8 GB de RAM.
 REVIT	Software BIM multidisciplinario para modelado de diseños coordinados de construcción.	- \$2,425 por año - \$6,550 por 3 años	- Gráficos avanzados: Tarjeta gráfica de 4 GB de memoria de vídeo como mínimo. - Sistema Operativo: Versión de 64 bits de Microsoft Windows 10.
 NAVISWORKS	Software para la revisión de proyectos, permite la simulación del diseño en un visor 3D y además permite el análisis 4D y 5D.	- \$925 por año - \$2,500 por 3 años	- Conectividad: Conexión a Internet para registro de licencia y descarga de componentes obligatorios. - Espacio: 15GB de espacio libre en el disco para la instalación.
CONJUNTO DE PROGRAMAS	Colección completa por herramientas BIM integradas para diseño de edificios, infraestructura civil y construcción. Incluye Revit, AutoCAD, Civil 3D, InfraWorks, Navisworks Manage y más.	- \$1,980 por año - \$5,345 por 3 años	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20. Costos y recursos para la implementación BIM

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN BIM				
RECURSOS - MATERIALES	Unidad	Cantidad	Costo (\$)	Parcial (\$)
Software AutoCAD navisworks y revit	und	4	5,345.00	21,380.00
Ordenadores	und	4	1,500.00	6,000.00

Monitores	und	8	400	3,200.00
TOTAL PARCIAL				30,580.00
RECURSOS - HUMANO	Unidad	Cantidad	Costo (\$)	Parcial (\$)
Modelador Arq - Est	mes	14	1,500.00	21,000.00
Modelador Revit Mep	mes	14	1,500.00	21,000.00
BIM Manager	mes	14	2,000.00	28,000.00
Coordinador proyectos BIM (25% del pago mensual afecta al proyecto)	mes	14	300	4,200.00
Capacitación Revit y Naviswork para el equipo BIM	und	4	640	2,560.00
Capacitaciones grupales revit para todo el equipo	und	2	3,000.00	6,000.00
Mantenimiento de ordenadores	mes	14	3,500.00	49,000.00
TOTAL PARCIAL				131,760.00
TOTAL				162,340.00

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.1 Costos de la implementación de una sala de sesiones ICE

Las sesiones ICE tienen como fin resolver los problemas de manera inmediatamente sean identificadas, de tal manera que se reduzca los tiempos (de semanas a minutos) y se integren los procesos y el producto.

Los beneficios de las sesiones ICE son la mejora del enfoque de los problemas y deficiencias ya que existe una efectiva participación y coordinación de todos los especialistas y modeladores, reduciendo el tiempo empleado en su resolución y mejorando la productividad en el proceso de planificación y diseño.

La organización de una sesión ICE está integrada el director de proyecto BIM, que es quien controla el contenido y los resultados y el coordinador de diseño BIM quién actúa de facilitador, a estas reuniones deben asistir los proyectistas de todas las especialidades, los modeladores BIM y los responsables de la construcción e ingeniería

de terreno, para lograr la resolución de problemas y enfocarnos a soluciones que faciliten la constructabilidad de la obra.

Se tienen distintas fases para la ocurrencia de estas sesiones, las primeras son durante la etapa de diseño y modelamiento, que es donde se encuentran las omisiones, errores e incompatibilidades, luego tenemos las reuniones de planeamiento preliminar donde se revisa la ingeniería y se define el cronograma y por último durante la ejecución donde se establecen reuniones de programación semanal, reuniones de ingeniería periódica, reuniones con el cliente, reuniones con subcontratistas, etc.

Por ello se hace indispensable la implementación de la sala de reuniones ICE, para la cual se requerirá básicamente lo siguiente (Ver Tabla N°21):

- Equipos como ecrans y proyectores
- Mobiliario de la sala (mesa central, sillas)

Tabla 21. Implementación sesiones ICE

IMPLEMENTACIÓN SESIONES ICE				
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Costo (\$)	Parcial (\$)
Proyectores	und	2	1,500.00	3,000.00
Ecrans	und	2	600	1,200.00
Mobiliario	und	1	1,500.00	1,500.00
Ordenadores	und	1	1,500.00	1,500.00
TOTAL				7,200.00

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2 Evaluación de Inversión

Haciendo una evaluación del ROI (rendimiento de la inversión) con BIM podemos determinar que se obtiene un valor favorable por sobre el 60% de beneficio, esto considerando que el aumento de la productividad será solo de 25%, se asume este valor al ser un proyecto piloto.

Variable	Descripción	Valores
A =	Coste de hardware y software (\$)	\$ 30,580.00
B =	Coste mensual de mano de obra (\$)	\$ 131,760.00
C =	Tiempo de formación (meses)	3
D =	Pérdida de productividad durante la formación (%)	0.5
E =	Aumento de productividad después de la formación (%)	0.25

$$\frac{(B - (\frac{B}{1+E})) \times (12 - C)}{A + (B \times C \times D)} = \text{ROI del primer año}$$

$$\text{ROI} = \frac{2.25}{228,220.00} \quad \begin{array}{l} \text{NUMERADOR} \\ \text{DENOMINADOR} \end{array}$$

$$\text{ROI} = 100.10\%$$

La inversión total de la implementación de BIM y las sesiones ICE es de:

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN BIM	\$ 162,340.00
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN SESIONES ICE	\$ 7,200.00
TOTAL	\$ 169,540.00
	S/. 578,131.40

Convertido a soles con el tipo de cambio de \$1 igual S/.3.41

Haciendo una comparación con las pérdidas que se ha tenido por modificaciones o mal diseño, según el caso de estudio en el diagnóstico del Capítulo 3 tenemos:

- Eliminación de material rocoso, la implementación de UPSS de Emergencia y otras Incompatibilidades, suma una pérdida de **S/. 773,608.68** nuevos soles.

Por lo tanto, al ver los costos si implementamos el BIM y sesiones ICE estaríamos invirtiendo **S/. 578,131.40**. Con lo cual haciendo la comparación de los gastos incurridos por las fallas de obra versus los costos por la implementación, podemos concluir que la misma hubiese logrado ahorrar costos, un total de **S/.195,477.28** nuevos solos y mejorar los procesos, demostrando que es necesario y beneficiosos contar con la

metodología BIM dentro de la gestión de proyectos públicos, en específico la infraestructura Hospitalarias.

Adicional a ello mencionar que implementando la metodología BIM de la mano de Lean Construction permitirá controlar los plazos del proyecto garantizando el cumplimiento de las metas.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Después de evaluar el nivel de desarrollo y las deficiencias en la ejecución de los proyectos públicos en nuestro país, vemos que es indispensable iniciar un cambio progresivo, que como primer paso estandarice y normalice una nueva forma de trabajo, a través del uso tecnologías de información modernas y que establezca la metodología BIM como un requerimiento básico indispensable, que en el caso ideal debería ser centralizado por el estado.

- Después de nuestra investigación podemos concluir que para una correcta implementación de BIM se requiere de una planificación clara y bien especificada, que vaya de acuerdo a los procesos definidos para el proyecto en particular y de esta manera pueda ser difundida y comprendida por todo el equipo, esto buscará darle el valor agregado a la información obtenida del modelo 3D, según lo establecido para cada uso y objetivo, para así evitar sobrecostos en el modelamiento, retrabajos y retrasos en la construcción por falta de información.

- En el marco de la investigación y evaluación de la propuesta podemos concluir que es factible y recomendable integrar la metodología BIM y la filosofía Lean Construction para lograr mejorar los procesos de diseño, planeamiento y construcción, a través de una adecuada gestión de la obra, comprobando que optimizan el planeamiento y la definición y visualización de los procesos constructivos, facilitando la constructabilidad de la obra, con una mayor coordinación interdisciplinaria, que mejora la toma de decisiones.

- Se logró demostrar que BIM no es solo una herramienta, sino más bien una metodología de trabajo que de la mano de Lean permiten una construcción ágil, con menores riesgos y que controla mejor la variabilidad, levantando incompatibilidades e interferencias con anticipación, permitiendo una planificación detallada más

confiable y controlada, que optimice el uso de los recursos, evite retrabajos, paralizaciones y mejore la comunicación entre los interesados.

- Los proyectos de infraestructura Hospitalaria que se viene implementando a nivel nacional, son proyectos especiales, debido al nivel de complejidad y las especialidades intervinientes, a la fecha la metodología implementada para su diseño y posterior construcción no ha sido la idónea; esto se evidencia en las incongruencias e incompatibilidades que se encuentra en cada proyecto, especialmente, el que es material de esta tesis. Como una alternativa para solucionar y/o mitigar dichas deficiencias se propone la implementación de la metodología BIM, a fin de reducir los altos sobrecostos y demoras en las que se incurre regularmente en estos proyectos, logrando de esta forma ahorros significativos para el erario nacional, y beneficiar a la población objetivo con la puesta en operación de esta infraestructura de salud, tan urgente en estas épocas.
- La adopción y uso de Lean Construction y BIM en los proyectos de inversión pública se rige por los principios de eficiencia, calidad, colaboración, transparencia y coordinación.
- En este proyecto en concreto, no hubo una gestión adecuada por las incompatibilidades ya mencionadas en la Tabla 5. Resumen de Incompatibilidades y sus impactos, las disciplinas fueron aisladas trabajando cada una independientemente y no hubo un trabajo colaborativo que se reflejara en el producto final (No se agregó valor al producto final, no hubo un fin de operar y mantener el activo). Y para poder implementar la metodología BIM y Lean se debe tener el conocimiento y la capacidad de interactuar con las diferentes disciplinas y/o áreas del proyecto, de la mano con el uso de la tecnología para desarrollar una pre-construcción virtual que permita tener resultados con mejor calidad, menor tiempo y con el costo que se ha previsto.
- Como país, necesitamos hospitales que operen eficientemente y estén al servicio de los ciudadanos, entonces, el Estado sería el primer interesado en que las cosas se hagan bien, a tiempo y sin sobrecostos. Para implementar BIM y Lean Construction,

debe haber un cambio de mentalidad (involucrar a todos los especialistas del proyecto a un trabajo colaborativo, capacitación, seguir estándares), tanto como para la entidad como para los postores. Por ello, como menciona Succar, se tiene que tener en claro los campos de: procesos, tecnología y políticas, que están unidos y nos van a permitir realizar un trabajo ordenado.

5.2. RECOMENDACIONES

- Como todo proceso innovador la metodología BIM requiere de una adecuada implementación, que sea fortalecida por el compromiso de la institución que la promueve, en este caso las autoridades del estado, de esta manera promoverá su entendimiento y el esfuerzo por su implementación. Además, es crucial iniciar el proceso con capacitaciones multidisciplinarias a todo el personal involucrado.
- Debemos entender que al ser un proceso novedoso requiere de un planeamiento detallado, el cual deberá ser cuidadosamente revisado por todos los interesados del proyecto, para garantizar su posterior funcionamiento.
- Esta tesis de investigación es una propuesta para implementar BIM en la ejecución de proyectos públicos de infraestructura de salud, que difunde sus beneficios y utilidades a un nivel de madurez inicial, ya que entendemos que es un proceso gradual y a largo plazo, por lo tanto, no debemos quedarnos con este detalle, sino seguir investigando y proponiendo mejoras.
- Los Gobiernos Regionales y Locales deben de iniciar acciones para la implementación del Lean Construction y BIM en el desarrollo de proyectos de infraestructura, con la finalidad de mejorar la calidad y eficiencia en la ejecución de proyectos de inversión pública, Además de ejecutar en los plazos establecidos y acorde con el presupuesto del expediente técnico.
- Para conseguir buenos resultados, se recomienda que BIM se implemente en la etapa más temprana de un proyecto de inversión pública, en este caso, desde la etapa

de pre-inversión, con la participación de todos los involucrados en el desarrollo de la infraestructura (trabajo colaborativo).

- Si el estado (Cliente / promotor) propone ejecutar un proyecto en base a la metodología BIM, este debe tener claro qué información requiere para realizar un proyecto con modelo BIM, debe realizar su solicitud en el EIR – (Requerimiento de información o Términos de referencia) para una evaluación de capacidades, solicitar el Plan BEP a los postores (pre contrato), y en función a eso evaluar las capacidades del equipo, los roles y responsabilidades, estrategias de coordinación y la mira hacia la operación y mantenimiento. Esto según el nivel de madurez BIM que estamos como país. El Estado debe dar las plantillas para trabajar de forma ordenada.
- Para que funcione la fase pre construcción debe contar con la participación de todos involucrados, cuantos más actores participen desde las etapas más tempranas, el proyecto será más beneficioso, por ello es fundamental capacitar a los profesionales que involucremos, enseñarles a gestionar y a trabajar colaborativamente.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Adriaanse, A., Voordijk, J., & Dewulf, G. (2010). Adoption and Use of Interorganizational ICT in a Construction Project.
- AECO. Architecture, Engineering, Construction and Operation. Recuperado de: <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/planificacion-y-direccion-de-obra/oficina-tecnica/aeco-architecture-engineering-construction-and-operation>
- AIA. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide: The American Institute of Architects.
- Alarcón, L., y Pellicer, E. (2008). Un Nuevo enfoque en la gestion: la cosntruccion sin perdidas. *Revista de Obras Públicas*, 3.496, 4-52.
- Asociación Nacional Invierte Perú (ANIP). (2017). Recuperado de: <http://bimsummit.pe/building-information-modeling-bim-para-la-gestion-de-proyectos-publicos/>
- Arnao, R. (2011). La eficiencia en la gestión pública: “El caso de la gestión de inversión pública local en el Perú”.
- Azhar, S., Hein, M. y Sketo, B. (2008). Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges.
- Ballard, G y Howell (2003). “An Update to The Last Planner”. IGLC11, Virginia, USA.
- BEP. (2013). BIM Project execution planning Guide. Version 2.1. Pensilvania.
- Bew, M., y Richards, M. (2008). Bew-Richards BIM Maturity Model.
- Building and Construction Authority. (2017). Singapore VDC Guide, Singapore: Building and Construction Authority (BCA).
- BIMETRIC. (2018). “Espacio LEAN – BIM”, episodio 8. Recuperado de: <http://www.espacioleanbim.com/episodio-8-comprender-las-etapas-bim/>
- Chachere, J., Kunz, J., & Levitt, R. (2009). The Role of Reduced Latency in Integrated Concurrent Engineering. Stanford University.
- Chua, D. & Yeoh, J. (2015). Understanding the Science of Virtual Design and Construction: What It Takes to go beyond building information modeling. Computing in Civil Engineering.
- Correa, M. (2014). *Análisis y aplicación del Sistema Lean Construction en la construcción de viviendas en Ecuador*. Quito.

- Fernandez, M. (2015). *Lean Manufacturing en español: Como eliminar desperdicios e incrementar ganancias*. España.
- Fischer, M., Khanzode, A., Reed, D., y Ashcraft, H. (2012). Benefits of Mode Invited paper. *Keynote Paper for Lake Constance 5D-Conference 2012*.
- Fischer, M., Khanzode, A., Reed, D., y Ashcraft, H. (2017). *Integrating Project Delivery*. Publicada por Wiley
- Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción: diagnostico, critica y propuesta*. Lima. Pontificie Universidad Católica del Peru.
- Heim, J., y Compton, W.D. (1992). *Manufacturing systems: foundations of worls-class practice*. National Academy Press. Whashintong, DC.
- Koskela, Lauri. 1992. Process Improvement and Automation in Construction: Opposing or Complementing Approaches? The 9th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 3 - 5 June 1992, Tokyo. *Proceedings*. Pp. 105-112.
- Kunz, J. & Fischer, M., 2009. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. Stanford, Stanford University.
- Kunz, J., & Fischer, M. (2011). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. Retrieved January 5, 2015, from Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University. Recuperado de: <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP097.pdf>
- Lincoln H. Forbes & Syed M. Ahmed. 2011. *Modern Constrution Lean Project Delivery and Integrated Practices*. New York: Taylor and Francis Group, LLC. Recuperado de: https://www.academia.edu/4531876/Modern_Construction_Lean_Project_Delivery_and_Integrated_Practices
- Martínez, P., González, V., y Da Fonseca, E. (2009). Integración conceptual Green-Lean en el diseño, planificación y construcción de proyectos. *Revista ingeniería de construcción*. Pp. 05-32.
- Matthews, O., y Howell, G. 2005. Integrated Project Delivery an Example of Relational Contracting. *Lean Construction Journal*, 46-61.
- Medina, J. (2019). El Acuerdo de Gobierno a Gobierno y los Contratos NEC: ¿Soluciones a las deficiencias de la normativa de contrataciones del Estado que

- puedan ser replicadas por todas las entidades? *Revista IUS ET VERITAS* N° 58, pp, 110-127.
- Penttilä, H. (2006). Describing The Changes In Architectural Information Technology To Understand Design Complexity And Free-Form Architectural Expression. *ITcon, 11(Special Issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality)*, 395-408.
- Pons, J. (2014). Introducción a Lean Construction. Fundación laboral de la construcción.
- Rajadell, M., y Sanchez, J. L. (2010). *Lean Manufacturing: la evidencia de una necesidad*. México. Ediciones Díaz de Santos.
- Rodríguez, M. (2006). El contrato Internacional de Construcción. Aspectos Generales. *Revista Mercatoria 1*, volumen 5.
- Salazar, M. (2017). Impacto económico del uso del BIM en el desarrollo de proyectos de construcción en la ciudad de Manizales. Tesis para optar el grado de Magister de construcción. Colombia.
- Salinas, J., y Ulloa, K. (2014). Implementación de BIM en Proyectos Inmobiliarios. *Sinergia e Innovación*, 2(1), 229-255.
- Smith, N.J. (2002) *Engineering Project Management*. 2da edición, UK, Blackwell Science Ltd.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation and Achieve Best Practice. Information Systems Frontiers*, 3 (4). 471-476.
- Tillman. 2014. Developing a Production System on IPD- Considerations for a Pluralistic Environment.
- Torroglosa, J. (2006). Impacto del BIM en la Gestion del proyecto y la obra de arquitectura, un proyecto con Revit. Valencia.
- Womack, J., Jones, D. y Roos, D., 1990. *The Machine that Changed the World: The Story of lean production*. New York: Free Press.