UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

“Propuesta de modelo de gestión dinámica de la cadena de producción de elementos prefabricados de concreto armado implementando herramientas informáticas integrales para reducir las pérdidas de independencia de sistemas en la construcción de edificaciones multifamiliares en Lima”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Collantes Gallo, Renzo Paolo (0000-0002-5964-4287)

Portilla Orosco, Jorge Antonio (0000-0001-6457-1302)

ASESOR

García Bedoya, Felipe Edgardo (0000-0002-2045-710X)

Lima, 22 de octubre del 2019

DEDICATORIA

*Este trabajo va dedicado para toda nuestra
familia que siempre nos apoyó y creyó en
nosotros. Además, a nuestros profesores
que permitieron formarnos
como los profesionales
que ahora somos*

AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial agradecimiento a las empresas inmobiliarias que nos apoyaron en brindarnos la información y su tiempo para el tema de investigación. Asimismo, agradecer fortuitamente al Arquitecto Daniel Basurto por brindarnos el programa Archicad para elaborar los modelados BIM y a la empresa Sistema 10 por facilitarnos los módulos ERP necesarios para la investigación. Finalmente, agradecer al Ingeniero Felipe García Bedoya por todo su tiempo y dedicación en el asesoramiento de la investigación.

RESUMEN

En la siguiente investigación se busca impulsar al sector construcción en el Perú hacia las nuevas tendencias de construcción como metodologías de construcción, nuevas formas de gestionar un proyecto y llevar un control activo para acercar al sector a la industrialización de la construcción conocida como “Construction 4.0”. Evidencia de ello es que ya se están realizando construcciones con elementos prefabricados que han garantizado la mejora en la calidad del producto, pero la forma de gestionar este nuevo método constructivo, y en general cualquier método, se encuentra aún deficiente generando ciertos conflictos en la cadena de producción de proyectos de construcción de edificaciones inmobiliarias que repercuten en tiempo y costo del proyecto. Se aplica una metodología de gestión utilizando dos herramientas informáticas vigentes que están dando excelentes resultados en países extranjeros que son el BIM y el ERP. Ambas se focalizan en la integración de la información y un trabajo dinámico constante para mejorar la interacción entre las partes involucradas. Se realizó una simulación con las herramientas para evaluar las mejoras que la metodología puede contribuir en la cadena de producción de elementos prefabricados comparando los resultados obtenidos con la ponderación de datos reales de 3 casos de estudio que se seleccionaron por presentar una tendencia en problemas con más recurrencia. Se evidenciará una reducción en tiempo y costo lo que genera altas expectativas en su aplicación en un proyecto real.

Palabras clave:

Construction 4.0, prefabricación, BIM, ERP, Cadena de producción, Integración.

Proposal for a dynamic management model for the production chain of prefabricated reinforced concrete elements by implementing comprehensive IT tools to reduce the losses of systems independence in the construction of multifamily buildings in Lima

ABSTRACT

The following research seeks to boost the construction sector in Peru towards new construction trends such as construction methodologies, new ways of managing a project and keeping active control to bring the sector closer to the industrialization of construction known as "Construction 4.0". Evidence of this is that constructions are already being carried out with prefabricated elements that have guaranteed the improvement in the quality of the product, but the way to manage this new construction method, and in general any method, is still deficient generating certain conflicts in the chain of production of construction projects of real estate buildings that impact on time and cost of the project. A management methodology is applied using two current computer tools that are giving excellent results in foreign countries that are BIM and ERP. Both focus on the integration of information and a constant dynamic work to improve the interaction between the parties involved. A simulation was carried out with the tools to evaluate the improvements that the methodology can contribute in the production chain of prefabricated elements comparing the results obtained with the weighting of real data of 3 case studies that were selected for presenting a trend in problems with more recurrence. A reduction in time and cost will be evidenced, which generates high expectations in its application in a real project.

Keywords:

Construction 4.0, prefabrication, BIM, ERP, Production line, Integration.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	11
1.1	11
1.2	19
1.2.1	19
1.2.2	20
1.2.3	21
1.2.4	22
1.2.5	22
1.3	25
1.4	25
1.4.1	25
1.4.2	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1.	26
2.1.1.	26
2.1.2.	26
2.1.3.	27
2.1.4.	27
2.1.5.	27
2.1.6.	27
2.1.7.	28
2.1.8.	28
2.2.	28
2.2.1.	29
2.3.	29
2.3.1.	30
2.3.2.	30
2.4.	31
2.4.1.	32
2.4.2.	32
2.4.3.	34

METODOLOGÍA	34
3.2	40
3.3	45
3.4	46
3.5	65
3.6	66
3.7	72
RESULTADOS	79
2.5.	80
RESULTADOS	80
PERDIDA DE COSTO POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	80
648.77	80
PERDIDA DE TIEMPO POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	80
1 -2 DÍAS	80
PERDIDA DE COSTO POR GESTIÓN DE CAMBIOS	80
442.70 SOLES	80
PERDIDA DE TIEMPO POR GESTIÓN DE CAMBIOS	80
1 – 2 HORAS	80
2.6.	81
RESULTADOS	81
PERDIDA DE COSTO POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	81
1,423.64	81
PÉRDIDA DE TIEMPO POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	81
1 -2 DÍAS	81
PERDIDA DE COSTO POR GESTIÓN DE CAMBIOS	81
1,197 SOLES	81
PÉRDIDA DE TIEMPO POR GESTIÓN DE CAMBIOS	81
1 – 2 DÍAS	81
2.7.	83
RESULTADOS	82
PERDIDA DE COSTO POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	82
1,086.67 SOLES	82

PÉRDIDA DE TIEMPO POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	82
1 -2 DÍAS	82
PERDIDA DE COSTO POR GESTIÓN DE CAMBIOS	82
68.4	82
PÉRDIDA DE TIEMPO POR GESTIÓN DE CAMBIOS	82
1 – 2 HORAS	82
2.8. 85	
Realizando un análisis de comparación en la cadena de producción de la metodología BIM – ERP con la cadena de producción actual conformada por los casos de estudio. Se puede observar:	82
2.9. 85	
2.10. 86	
RESULTADOS	83
INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	83
3%	83
PORCENTAJE DE PÉRDIDA ECONÓMICA POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	83
7%	83
INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	83
4%	83
PORCENTAJE DE PÉRDIDA ECONÓMICA POR INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	83
4%	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA CADENA DE PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS	14
TABLA 2 - FUNCIONES REQUERIDA, DESAFÍOS Y RIESGOS CRÍTICOS PARA LA PREFABRICACIÓN	17
TABLA 3 - MÓDULOS ERP QUE GENERAN MAYOR BENEFICIO	24
TABLA 4 - TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 1	69
TABLA 5 - TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 2	70
TABLA 6 - TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 3	72
TABLA 7 - TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 1	75
TABLA 8 - TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 2	76
TABLA 9 - TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 3	79

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PBI GLOBAL Y PBI DE LA CONSTRUCCIÓN: 2017 – 2018	12
FIGURA 2 - CONTRIBUCIÓN DIRECTA SECTORIAL AL CRECIMIENTO DEL VALOR AGREGADO	13
FIGURA 3 - PREFABRICACIÓN DE ELEMENTOS	31
FIGURA 4 - EVOLUCIÓN BIM	32
FIGURA 5 - MÓDULOS ERP S10	33
FIGURA 6 - ELEVACIÓN FRONTAL DE CASO DE ESTUDIO N° 1	37
FIGURA 7 - ELEVACIÓN FRONTAL CASO DE ESTUDIO N° 2	38
FIGURA 8 - ELEVACIÓN FRONTAL CASO DE ESTUDIO N° 3	39
FIGURA 9 - CADENA DE PRODUCCIÓN CASO DE ESTUDIO N° 1	40
FIGURA 10 - CADENA DE PRODUCCIÓN CASO DE ESTUDIO N° 2	42
FIGURA 11 - CADENA DE PRODUCCIÓN CASO DE ESTUDIO N° 3	44
FIGURA 12 - CADENA DE PRODUCCIÓN ESTANDARIZADA ACTUAL	46
FIGURA 13 - MODELADO BIM CASO DE ESTUDIO N°1	48
FIGURA 14 - CUANTIFICACIÓN DE M2 DE PRELOSA EXTRAÍDOS DEL BIM PARA CASO DE ESTUDIO N° 1	49
FIGURA 15 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO RESUMEN DE CASO DE ESTUDIO N° 1	49
FIGURA 16 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO DE PLANTA: FABRICACIÓN DE CASO DE ESTUDIO N° 1	50
FIGURA 17 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO DE OBRA: INSTALACIÓN DE CASO DE ESTUDIO N° 1	50
FIGURA 18 - MODULACIÓN DE PRELOSA PARA EL CASO DE ESTUDIO N° 1	51
FIGURA 19 - CUANTIFICACIÓN DE ACERO CON BIM PARA CASO DE ESTUDIO N° 1	52
FIGURA 20 - SEGUIMIENTO DE AVANCE DEL PROYECTO	53
FIGURA 21 - PLANIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PRELOSAS SOBRE TRANSPORTE CASO DE ESTUDIO N° 1	54
FIGURA 22 - DESCARGA DIRECTA DE RÁPIDA UBICACIÓN CASO DE ESTUDIO N° 1	55
FIGURA 23 - MODELADO BIM DE CASO DE ESTUDIO N° 2	56
FIGURA 24 - CUANTIFICACIÓN DE M2 DE PRELOSA EXTRAÍDOS DEL BIM PARA CASO DE ESTUDIO N° 2	57
FIGURA 25 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO RESUMEN DE CASO DE ESTUDIO N° 2	57
FIGURA 26 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO DE PLANTA: FABRICACIÓN DE CASO DE ESTUDIO N° 2	58
FIGURA 27 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO DE OBRA: INSTALACIÓN DE CASO DE ESTUDIO N° 2	58
FIGURA 28 - MODULACIÓN DE PRELOSA PARA EL CASO DE ESTUDIO N° 2	59
FIGURA 29 - CUANTIFICACIÓN DE ACERO CON BIM PARA CASO DE ESTUDIO N° 2	59
FIGURA 30 - PLANIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PRELOSAS SOBRE TRANSPORTE CASO DE ESTUDIO N° 2	60

FIGURA 31 - DESCARGA DIRECTA DE RÁPIDA UBICACIÓN CASO DE ESTUDIO N° 2	60
FIGURA 32 - MODELADO BIM DE CASO DE ESTUDIO N° 3	61
FIGURA 33 - CUANTIFICACIÓN DE M2 DE PRELOSA EXTRAÍDOS DEL BIM PARA CASO DE ESTUDIO N° 3	61
FIGURA 34 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO RESUMEN DE CASO DE ESTUDIO N° 3	62
FIGURA 35 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO DE PLANTA: FABRICACIÓN DE CASO DE ESTUDIO N° 3	62
FIGURA 36 - PRESUPUESTO COMPATIBILIZADO DE OBRA: INSTALACIÓN DE CASO DE ESTUDIO N° 3	63
FIGURA 37 - MODULACIÓN DE PRELOSA PARA EL CASO DE ESTUDIO N° 3	63
FIGURA 38 - CUANTIFICACIÓN DE ACERO CON BIM PARA CASO DE ESTUDIO N° 3	64
FIGURA 39 - PLANIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PRELOSAS SOBRE TRANSPORTE CASO DE ESTUDIO N° 3	64
FIGURA 40 - DESCARGA DIRECTA DE RÁPIDA UBICACIÓN CASO DE ESTUDIO N° 3	65
FIGURA 41 - CADENA DE PRODUCCIÓN BIM - ERP	66
FIGURA 42 - GRAFICA CIRCULAR DE CANTIDADES DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA	68
FIGURA 43 - INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 1	68
FIGURA 44 - GRAFICA CIRCULAR DE CANTIDADES DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 2	70
FIGURA 45 - INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 2	70
FIGURA 46 - GRAFICA CIRCULAR DE CANTIDADES DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 3	72
FIGURA 47 - INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE INCOMPATIBILIDAD TÉCNICA EN CASO DE ESTUDIO N° 3	72
FIGURA 48 - GRAFICA CIRCULAR DE CANTIDADES DE CONFLICTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 1	74
FIGURA 49 - INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 1	74
FIGURA 50 - GRAFICA CIRCULAR DE CANTIDADES DE CONFLICTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 2	76
FIGURA 51 - INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 2	76
FIGURA 52 - GRAFICA CIRCULAR DE CANTIDADES DE CONFLICTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 3	78
FIGURA 53 - INCIDENCIA DE CONFLICTOS DE GESTIÓN DE CAMBIOS EN CASO DE ESTUDIO N° 3	78

INTRODUCCIÓN

1.1 El Problema

El crecimiento del sector construcción es uno de los principales indicadores de crecimiento y principal aportante al PBI global y nacional, su impulso y desarrollo provoca que la economía del país o región en su conjunto crezca (Arashpour, Abbasi, Arashpour, Reza Hosseini, & Yang, 2017). Actualmente, la industria de construcción se encuentra en una etapa de actualización y/o adopción de nuevos procesos frente a un cambio tecnológico digital con concepción de integración y coordinación óptima de todos los procesos asociados al proyecto; sin embargo, la presente afirmación es aplicada en mayor magnitud a los países de primer mundo debido al desarrollo y a

la disposición de herramientas de tecnologías de información para la gestión presente en el mercado extranjero en mayor medida.

Por otro lado, para los países en desarrollo como el Perú, es difícil la adopción de nuevas tecnologías debido a la poca incorporación de innovación, la sobrevaloración de los procesos tradicionales y políticas de promoción del desarrollo que se aplican. Según la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), la situación de las empresas constructoras en el Perú, durante los últimos años, presenta una oscilación inconstante de su aporte en el PBI nacional llegando, en algunos meses, a presentar valor negativo (Figura 1); la principal razón, aplicando “ceteris paribus”¹, recae sobre la ineficaz gestión y los deficientes procesos de construcción aún realizados, lo cual genera que el valor agregado bruto no sea notable a comparación de los demás sectores (Figura 2).

Figura 1 - Variación porcentual del PBI global Y PBI de la construcción: 2017 – 2018

Figura 2 - Contribución directa sectorial al crecimiento del valor agregado

¹ Ceteris paribus: “Los demás factores externos se mantienen constante”

Las empresas de construcción en el Perú no se encuentran al mismo nivel de desarrollo en comparación con empresas extranjeras, enfocándose especialmente en la implementación de nuevas tecnologías y métodos de trabajo que permiten un mejor desarrollo a nivel de su organización para un mejor desempeño laboral de los trabajadores. En este contexto, se centra la metodología de construcción de proyectos híbridos², que se está empezando a utilizar en el Perú, con actividades ejecutadas en el sitio y fuera de él para la reducción de desperdicio, tiempo y costo. Sin embargo, como toda nueva metodología de construcción, genera riesgos potenciales que afectan a uno o más objetivos del proyecto, incluidos el tiempo, el costo, el alcance, la calidad, la seguridad y el medio ambiente (Arashpour et al., 2017; Chen et al., 2018). Estos riesgos son las principales fuentes de rechazo hacia la aceptación del uso de la prefabricación en mayor medida, y se generan debido a que la manera de gestionar un método nuevo con los mismos procesos y herramientas que se utiliza para la construcción tradicional no permitirá desarrollar el verdadero potencial que este nuevo método ofrece, sino que generará mayores problemas al proyecto.

Los problemas en la adopción del proceso constructivo con elementos prefabricados radican principalmente en la cantidad de partes involucradas en la cadena de producción de este tipo de proyectos ya que almacenan, recuperan y administran información en sus propios sistemas aislados (Li, Shen, Wu, & Yue, 2019). Dentro de los problemas que se investigaron se encuentran el diseño de edificios, la producción de componentes prefabricados, la logística y los procesos de instalación de prefabricados, entre otros; que se origina debido a que aún están, en su mayoría, suspendidos y fragmentados (Li et al, 2017). La deficiente gestión fragmentada de este tipo de proyectos presenta conflictos, como, por ejemplo; pobre calidad de los productos prefabricados, alto costo de inventario, contratación tardía de contratistas, entre otros problemas más, identificados por Arashpour et. Al (2017), que suceden en el sitio, fuera de él y en la coordinación entre las partes presentadas en la tabla 1.

Tabla 1 - Problemas identificados en la cadena de producción de elementos prefabricados

Risk ID	Description	Affected part of the hybrid project
R1	Design not suitable for prefabrication (Diseño no apto para prefabricación.)	off site

² Proyectos híbridos: Tipo de construcción que combina la construcción tradicional con la construcción prefabricada.

R2	Poor quality of prefabricated products (Pobre calidad de los productos prefabricados)	off site
R3	Shortage of material supply (Falta de suministro de material)	off site
R4	Difficulties with labor unions (Dificultades con los sindicatos)	off site
R5	High quality/performance expectations (Alta calidad / expectativas de rendimiento)	off site
R6	General safety accidents in the factory (Accidentes de seguridad general en la fábrica)	off site
R7	Demand variability for prefabrication (Variabilidad de la demanda para la prefabricación)	off site
R8	High inventory cost (Alto costo de inventario)	off site
R9	Inefficient cost estimating for prefabrication (Ineficiente estimacion de costo de prefabricado)	off site
R10	Change orders (Cambiar ordenes)	off site
R11	Unrealistic prefabrication schedule (Horario de prefabricación poco realista)	off site
R12	Design not suitable for transportation (Diseño no apto para el transporte)	Coordination
R13	Lack of efficient communication (Falta de comunicación eficiente)	Coordination
R14	Poor fleet management (Mala gestión de la flota)	Coordination
R15	Late engagement of contractors(Contratación tardía de contratistas)	Coordination
R16	Hidden costs for hybrid projects (Costes ocultos para proyectos híbridos)	Coordination
R17	Lack of compliance to requirements/standards (Falta de cumplimiento de requisitos / normas)	Coordination
R18	Volumetric limitations for transport (Limitaciones volumétricas para el transporte)	Coordination
R19	Excessive approval procedures for oversize loads (Procedimientos de aprobación excesivos para cargas sobredimensionadas)	Coordination
R20	Damage to prefabricated elements (Daños a elementos prefabricados)	Coordination
R21	Unrealistic transportation schedule (Horario de transporte poco realista)	Coordination

R22	General safety accidents in transportation (Accidentes de seguridad general en el transporte)	Coordination
R23	Excessive approval procedures–finance (Procedimientos de aprobación excesiva - finanzas)	Coordination
R24	Not meeting sustainability requirements (No cumplir con los requisitos de sostenibilidad)	Coordination
R25	Low completion percentage in factory (Bajo porcentaje de terminación en fábrica)	Coordination
R26	Conflicting stakeholder interests (Conflicto de intereses de los interesados)	Coordination
R27	Issues around permitting and construction codes (Cuestiones en torno a los permisos y códigos de construcción)	Coordination
R28	Long distance of factory to site (Larga distancia de la fábrica al sitio)	Coordination
R29	Shortage of contractors’ knowledge & skills (Falta de conocimiento y habilidades de los contratistas)	Coordination
R30	Design not suitable for assembly and installation (Diseño no apto para montaje e instalación)	On site
R31	Technical faults in installation (Fallas técnicas en la instalación)	On site
R32	General safety accidents on construction site (Accidentes de seguridad general en obra)	On site
R33	Unrealistic on–site project schedule (Calendario de proyectos in situ poco realista)	On site
R34	Inadequate site information (Información inadecuada del sitio)	On site
R35	Height limitations for crane lifting (Limitaciones de altura para elevación de grúa)	On site
R36	Inefficient cost estimating for on–site activities (Estimación de costos ineficientes para actividades en el sitio)	On site
R37	Disputes and contractual problems (Conflictos y problemas contractuales)	On site
R38	Inadequate utility infrastructure (Infraestructura de servicios públicos inadecuada)	On site
R39	Inclement weather conditions (Inclemencias del tiempo)	On site

R40	Difficulty in site access for heavy cranes (Dificultad en el acceso al sitio para grúas pesadas)	On site
-----	--	---------

Además, las condiciones actuales con las que se gestiona las construcciones prefabricadas muestran una mala interoperabilidad de los datos y una falta de capacidad para visualizar y rastrear la información en tiempo real (Li et al, 2017). Se identificó las funciones requeridas en obra en base a la construcción prefabricada y se colocaron los desafíos que estas funciones solicitan. Todo esto, nos lleva a importantes problemas de retraso en el cronograma generando no solo pérdidas en tiempo, sino también pérdidas económicas (Tabla 2).

Tabla 2 - Funciones requerida, desafíos y riesgos críticos para la prefabricación

Funciones requeridas	Desafíos en la Construcción prefabricada	Riesgos críticos
Entrega y montaje Just-In-Time (JIT) en el área de un sitio compacto.	Ineficiente gestión de la instalación por espacio compacto.	Retraso en la entrega del elemento prefabricado al sitio (DDPES). Error de instalación de elementos prefabricados (IEPE).
Intercambio de información de producción entre el fabricante de prefabricación y las empresas de logística y ensamblaje que llevan a tiempo adicional de negociación.	Ineficiencia en el transporte y alto costo de la logística transfronteriza.	Inconsistencia de la información logística debido a errores humanos (LIIBHE). Baja interoperabilidad de la información entre diferentes sistemas de planificación de recursos empresariales (LIIBDERPS).
Incorporación de la información de diseño en los componentes de prefabricación para su uso posterior.	Falta de interoperabilidad entre las diversas partes interesadas y sus sistemas de información empresarial heterogéneos (EIS).	Reparación y avería de grúas torre (TCBM). Procedimientos de inspección de baja calidad (SQIP).
Comunicación eficiente entre grupos de interés y directivos.	Transmisión ineficiente de información entre las etapas de diseño y prefabricación.	Cambio de diseño (DC). Ineficiencia de aprobación del diseño (IDA).
Pasando la información de diseño a los fabricantes sin ninguna ambigüedad.	Brechas de información entre grupos de interés, tecnologías y procesos.	Transición ineficiente de datos de diseño (IDDT). Brecha de información de diseño entre el diseñador y el fabricante (DIGBDM).
Identificación y verificación eficiente de los componentes prefabricados adecuados.	Insuficiente método de almacenamiento de información de elementos prefabricados.	Verificación ineficiente de componentes prefabricados debido a etiquetas ambiguas (IVPCBAL).
	Falta de visibilidad y trazabilidad de la información en tiempo real.	Colocación incorrecta en el sitio de almacenamiento debido a un descuido (MSSBC).

Con todo lo mencionado, es meritorio reflexionar en qué estado se encuentra la industria de la construcción en el Perú y por qué no existe un elevado desarrollo de este sector. Acaso el dinero es un factor de impedimento o también el desconocimiento por la falta de capacitación de nuevas formas de trabajo. Si se quiere obtener mejores y diferentes resultados, y ser más competitivos en el mercado, tenemos que posicionar al sector tan igual, o más, que en países extranjeros. Tenemos que conocer su forma de trabajo, adaptarla y mejorarla. La construcción de prefabricados ya está entrando al mercado de nuestro país, como lo mencionamos, empresas extranjeras quieren abrir mercado de prefabricados en la totalidad de elementos estructurales que componen una construcción, y también se están realizando investigaciones acerca de este método constructivo en

nuestro país. Por otro lado, la tecnología digital para la construcción no es aplicada en gran magnitud en el Perú, pero está tomando impulso por parte de algunas empresas locales. Con esto podemos deducir que en un futuro tendremos las herramientas necesarias para aplicar adecuadamente la nueva metodología constructiva y potenciar la forma de construir actual en el país. Para ello debemos tener una respuesta a los problemas identificados en la gestión de la cadena de producción, por eso se formula el siguiente cuestionamiento:

¿De qué manera podemos mejorar la gestión de la cadena de producción en la construcción de edificaciones multifamiliares que utilicen elementos prefabricados en su ejecución en el Perú para potenciar sus beneficios?

1.2 Estado del arte

La gestión de proyectos es un aspecto que se ha desarrollado paulatinamente frente a la alta influencia de los factores externo e internos. En los últimos años, los proyectos han adoptado nuevos procesos y metodologías de construcción para mitigar los factores y su influencia como la variabilidad de mano de obra y deficiente calidad de entregables.

La construcción con elemento prefabricados es uno de los nuevos procesos constructivos adoptados que ha aportado mayor efecto positivo sobre el proyecto. Sin embargo, Li Jiang (2018) ha identificado los nuevos problemas asociados a la construcción en obra, fuera de obra y coordinación entre ambos.

La identificación de los problemas ha llevado a generar investigaciones descriptivas que han permitido adoptar herramientas como la metodología BIM para tratar de solucionar problemas de integración y coordinación de procesos en construcciones prefabricadas. (Chen et al., 2018; Li et al., 2019). Sin embargo, pese a haber logrado mejoras productivas aún existen aspectos de tiempo y costo que no han sido mitigadas.

Por otro lado, los sistemas ERP, una herramienta que ya ha estado presente en proyectos de construcción para el aspecto logístico, se han potenciado para gestionar en mayor alcance los activos del proyecto a través de la colaboración en un único cuerpo de trabajo (Hadidi, Assaf, & Alkhiami, 2017)

El sector de la construcción presenta un desarrollo exponencial que va acorde con el desarrollo global. Sin embargo, en base a la revisión de la literatura se puede concluir que el problema fundamental de la integración de las gestiones se ha reducido, mas no solucionado.

1.2.1 Artículo 1

Constraints on the promotion of prefabricated construction in China

Problema

Restricciones en la adopción de elementos prefabricados

Proceso para resolver el problema

El procedimiento de la investigación para el desarrollo de un marco de referencia y los análisis empíricos del riesgo se realizó de la siguiente manera:

- Desarrollo del marco conceptual en base a técnicas como el método delfi, análisis SWOT, lista de verificación, juicio de expertos y diagrama de técnicas.
- Desarrollo de hipótesis en base a datos de la literatura revisada
- Análisis de probabilidad y validación de hipótesis mediante los resultados

Principal resultado

El impacto de los riesgos sobre el proyecto está enfocado en la coordinación entre las actividades on site y actividades off site debido a la presencia justificadas por los datos recolectados y a la magnitud de influencia sobre el tiempo, costo y calidad.

1.2.2 Artículo 2

Integrating Building Information Modeling and Prefabrication Housing Production

Problema

El sector de la construcción enfrenta desafíos como la baja productividad, alto riesgo de seguridad y alto impacto ambiental. Estos problemas ocurren por una pobre adopción e integración de las tecnologías avanzadas de información y escaso principio de industrialización.

Proceso para resolver el problema

Para hacer frente al problema el autor propone una solución industrializada mediante la realización de construcciones prefabricadas modulares, para lo cual, se requiere de una precisa gestión logística y de calidad. Para ello el autor propone la utilización de la metodología BIM para este tipo de construcciones. Lo desarrolla de la siguiente manera:

- El autor realiza un estudio de factibilidad de la metodología BIM y prefabricados.
- Identifica las complicaciones de información fragmentada e implementa una plataforma BIM inteligente (mediante la interconexión con la nube).

- Investiga las capas de la nube que permite un eficiente intercambio de información (IaaS, PaaS y SaaS)

Principal resultado

Se adopta una estructura jerárquica del producto prefabricado a partir de unidades, módulos, componentes y materiales. Se obtiene una adecuada planificación del transporte gracias al SWP sincronizado con el BIM en las cuales incluye planificación y programación del transporte, ejecución del transporte y optimización del transporte. Y se tiene un mejor manejo de la información en las etapas producción, transporte, arribo y colocación.

1.2.3 Artículo 3

A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction

Problema

La construcción prefabricada es la nueva tendencia en cuanto a métodos constructivos y requiere un cambio total en su gestión, respecto a maneras tradicionales.

Proceso para resolver el problema

Los autores proponen una sincronización BIM e “Internet Físico” para una gestión integral en todas las etapas del proyecto para reducir la falta de comunicación, datos incorrectos o inoportunos, incompatibilidad de información y problemas adicionales. Esto se da en 3 capas:

- Capa de recopilación de datos
- Capas de enlace inteligente
- Capas de soporte basadas en la nube

Y contiene 3 módulos:

- Módulo de trazabilidad
- Módulo de visibilidad
- Módulo de intercambio de información

Principal resultado

Se obtuvo una reducción en el tiempo de ciclo de producción, se manejó un menor inventario, se ahorró tiempo en localización del componente, se redujo el consumo de papel innecesario y se redujo el tiempo de espera.

1.2.4 Artículo 4

Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things

Problema

Existen múltiples desafíos cuando se usa BIM en proyectos prefabricados.

Proceso para resolver el problema

Los autores plantean una arquitectura para utilizar los prefabricados con las tecnologías digitales. Para ello se necesita la incorporación de las capas del cloud computing:

- SaaS son los servicios que se encuentran en la Web.
- PaaS es un modelo que reduce la complejidad del manejo de las aplicaciones.
- IaaS nos permite manejar las informaciones en la nube y almacenarla.

Principal resultado

Con la implementación de las tecnologías informáticas para la gestión de las construcciones prefabricadas, se consigue una reducción en el uso del papel, una producción más eficiente, un menor tiempo de espera de descarga del material, entre otros más beneficios.

1.2.5 Artículo 5

A systematic approach for ERP implementation in the construction industry.

Problema

Implementación exitosa de los sistemas ERP en empresas de construcción

Proceso para resolver el problema

El procedimiento de la investigación para obtención de los criterios de implementación de ERP se realizó de la siguiente manera:

- Identificación de los módulos comúnmente usados en empresas constructoras y validación por expertos.
- Identificación de los beneficios obtenidos durante y finalizado el proceso de implementación del ERP y validación por expertos
- Análisis y evaluación de módulos según los beneficios identificados, determinando un nivel de participación
- Presentación de una tabla de influencia de los módulos según su participación y efecto sobre el beneficio obtenido en la empresa constructora

Datos del proceso

- ❖ Módulos más utilizados para construcción
 - ❖ Sales and marketing (Venta y Mercadeo)
 - ❖ Human resource (Recursos Humanos)
 - ❖ Tendering/bid management (Licitaciones/Gestión de licitaciones)
 - ❖ Resource management (Gestión de recursos)
 - ❖ Data/document Management (Documentos/Gestión de datos)
 - ❖ Collaboration (Colaboración)
 - ❖ Contract and change management (Contratos y gestión del cambio)
 - ❖ Project management and budgeting (Gestión de proyectos y presupuesto)
 - ❖ Subcontractor management (Gestión de subcontratistas)
 - ❖ Time, expenses & invoicing (Tiempo, Gastos y Facturación)
 - ❖ Project finance and accounting (finanzas del proyecto y contabilidad)
 - ❖ Procurement (Adquisiciones)
 - ❖ Inventory control and logistics (control de inventario y logística)
-
- Beneficios más comunes de la implementación del ERP
 - ❖ Cost Reduction (Reducción de costos)

- ❖ Increased efficiency (Incremento de eficiencia)
- ❖ Improved decisión making (Mejora la toma de decisiones)
- ❖ Improved information quality (Mejora la calidad de la información)
- ❖ Improved user's satisfaction (Mejora de la satisfacción del usuario)
- ❖ Improved Organizational flexibility (Mejora de la flexibilidad organizacional)

Principal resultado

Los resultados demostraron que los módulos que generan mayor beneficio y permiten un proceso correcto de implementación en una empresa de construcción son los siguientes:

Tabla 3 - Módulos ERP que generan mayor beneficio

Rank	ERP Module	Global Index
1	Inventory Control and Logistics	3.99848828
2	Procurement	3.90652557
3	Project Finance and Accounting	3.80347695
4	Project Management and Budgeting	3.75258251
5	Time, Expenses & Invoicing	3.72310406
6	Human Resources	3.63466868
7	Sub-Contractor Management	3.54346183
8	Resource Management	3.53640716
9	Contract and Change Management	3.52582514
10	Collaboration	3.3542454
11	Data/Document Management	3.30486269
12	Tendering/Bid Management	3.28168304
13	Sales and Marketing	2.97228521

1.3 Hipótesis

La aplicación de la metodología BIM-ERP en la gestión de la cadena de producción de elementos prefabricados de concreto armado permitirá:

- Mejorar la calidad del proceso reduciendo la cantidad de actividades de coordinación en la cadena de producción en un 30%
- Reducir la pérdida económica y de tiempo generada por incompatibilidades técnicas en 100%
- Reducir la pérdida económica y de tiempo generada por gestión de cambio de modificaciones del proyecto en 100%
- Reducir la duración de un ciclo de la cadena (lead time + instalación) para el elemento en producción en 30%.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Proponer un modelo de gestión de colaboración dinámica e integral entre proveedor y contratista usando herramientas informáticas para la construcción de edificaciones multifamiliares con elementos prefabricados.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar gráficamente el proceso actual de la cadena de producción y el proceso desarrollado con la metodología BIM-ERP.
- Identificar las actividades de coordinación de la cadena de producción que producen conflictos en la producción comparando ambos procesos.
- Desarrollar una simulación de la gestión con la metodología BIM-ERP.
- Cuantificar en forma comparativa la reducción pérdidas de tiempo y costo generada por incompatibilidades de planos y gestión de cambios.
- Contrastar una medición del lead time logístico de los elementos actual contra la nueva gestión.

MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Básicos

El sector de la construcción es un campo técnico especializado en la edificación de estructuras de infraestructura o inmobiliaria. En los últimos años, se puede observar el desarrollo del área en aspectos de diseño estructural, geotecnia, construcción, gestión de proyectos, entre otros. Estas investigaciones han aportado conceptos y definiciones técnicas que es importante conocer para comprender las actividades que se desarrollan. A continuación, se presentan definiciones implicadas directamente a la investigación.

2.1.1. Construcción tradicional

La construcción tradicional se les conoce a los procesos constructivos en los que se utiliza mano humana directa in situ, para la elaboración de los diferentes componentes que conforman una edificación. Es la manera artesanal de transformar los materiales en elementos de la estructura. Este método de construcción es aplicado en casi la totalidad de las construcciones en el Perú.

2.1.2. Cadena de Producción

La cadena de producción abarca desde la elaboración de los elementos en la planta proveedora, el transporte de los elementos desde la planta hasta el lugar de obra y finalmente la instalación del elemento en el lugar asignado. Este flujo se mantiene de manera constante hasta la culminación del proyecto teniendo que realizar constantes inspecciones en cada parte de la cadena.

2.1.3. Productividad

La productividad es el termino designado a la acción de producir con una mínima cantidad de recursos, de tal manera que el incremento de esta característica no involucre un incremento en la cantidad de recursos necesarios para producir.

2.1.4. Rentabilidad económica

La rentabilidad económica es la ganancia monetaria obtenida por la gestión y ejecución de un proyecto.

2.1.5. Edificaciones multifamiliares

Las edificaciones multifamiliares son los proyectos de construcción comprendidas por un conjunto de viviendas distribuidas por niveles de edificación, anexadas por espacios en común en cada nivel destinadas al tránsito de los residentes e invitados. Estas edificaciones permiten tener a un conjunto de familias habitando en un solo terreno; su adquisición es cada vez más recurrente en el Perú por las facilidades de pagos, ubicación, accesibilidad, entre otros factores adicionales.

2.1.6. Logística de obra

La logística es el área encargada de evaluar, adquirir el material y gestionar los procesos de compras para la ejecución de actividades del proyecto garantizando la continuidad del flujo productivo.

2.1.7. Administración de obra

La administración de obra es el área encargada de gestionar los contratos, subcontratos, valorizaciones y desembolsos de dinero durante todas las etapas del proyecto.

2.1.8. Calidad en obra

La calidad es la característica propia del resultado final al ser construidos acorde a las especificaciones técnicas y funciones destinadas.

2.2. Project Management Body of Knowledge (PMBOK)

El PMBOK es el compendio del saber de la gestión de proyectos cuyo contenido abarca las buenas prácticas de la gestión de proyectos seleccionados por profesionales capacitados en el área, los cuales integran el Project Management Institute (PMI). Este documento es una guía de métodos, herramientas y técnicas agrupadas en grupos de procesos y áreas de conocimiento. La finalidad de la guía es minimizar los riesgos del proyecto y aumentar la probabilidad de éxito.

EL PMBOK divide al proyecto en 5 grupos de procesos relacionados en cada etapa de construcción: iniciación, planificación, ejecución, control y cierre. Estos grupos contiene 49 procesos que abarcan desde el desarrollo del acta de constitución hasta el cierre del proyecto. Además de agruparse en grupos de procesos, también se clasifican en áreas de conocimiento cuyo enfoque es agrupar los procesos en 10 grupos que integran la gestión total del proyecto: Integración, alcance, cronograma, costo, calidad, recursos, comunicación, riesgo, adquisición e interesados.

Además, este documento comprende el desarrollo de habilidades de liderazgo, interpersonales, de organización, de confrontación, trabajo en equipo, de comunicación, de eficacia y flexibilidad al

cambio. Además, contiene herramientas y técnicas como el juicio de expertos, análisis de datos, toma de decisiones, reuniones e inspecciones entre otras.

2.2.1. Gestión de Proyectos

La gestión de proyectos es la aplicación de habilidades, conocimientos, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir los requisitos del mismo (PMBOK® Guide – Sixth Edition, 2017).

2.3. Lean Construction

La filosofía Lean es un enfoque dirigido a la reducción de pérdidas cuyo inicio se dio en el área de manufactura en el siglo XX por la empresa automotriz Toyota.

El Lean Construction es el desarrollo del concepto aplicado al sector de la construcción cuya dirección es maximizar el valor por medio de la minimización de residuos y pérdidas mediante la aplicación de técnicas y herramientas que incremente la productividad de los procesos.

Las pérdidas, según la filosofía lean, están clasificada en 3 grupos: Muri, representación de sobrecarga de esfuerzo por parte del personal, material o equipo; Mura, representación de la variabilidad no previstas que provocan desequilibrio; y Muda, representación de los desperdicios cuyo consumo de recursos no agrega valor al proyecto (sobreproducción, inventarios, sobre proceso, esperas, reprocesos, transporte y movimientos)

El camino del Lean Construction se inicia en la identificación de los desperdicios por medio de la participación de todo el equipo y personal del proyecto para determinar la herramienta correcta para la mejora incremental. Entre las herramientas lean se encuentran: Just in time (JIT), Kanban, VSM, VSA, entre otros.

2.3.1. Last Planner

El sistema Last Planner es un sistema de control enfocado al cumplimiento de las actividades y al uso eficiente de los recursos por medio del aporte de confianza a la planificación.

El sistema consiste en planificar actividades semanales de forma colaborativa cuyo fin es comprometer al personal con el proyecto. Seguido de la planificación semanal, se presentará el Tareo diario detallando que se realizará, quién y en donde se realizará. El avance del proyecto se reflejará en el Lookahead y en el cronograma maestro.

2.3.2. Prefabricación

La prefabricación es un método constructivo que brinda un enfoque de reducción de desperdicios y optimización de procesos a raíz de la elaboración fuera de sitio de los elementos estructurales y no estructurales del proyecto (Figura 3). El principio sobre el cual se cimienta es la industrialización de la construcción para lograr la producción en masa como ya se presencia en otros sectores. La gestión de la prefabricación se encuentra durante el ciclo de vida de los proyectos de construcción incluidas las etapas de diseño, fabricación, transporte, montaje en sitio y mantenimiento (Li et al., 2019). La construcción prefabricada potencia el aseguramiento de la calidad del proyecto a través de estrategias de estandarización de especificaciones en la elaboración del elemento, la velocidad de ejecución con respecto a la producción tradicional y la reducción de costos en base a la eliminación de desperdicios generados en construcciones in situ. En conclusión, la importancia de la adopción de este método constructivo es que encamina al sector hacia un enfoque industrializado cuyo valor agregado la eliminación de pérdidas mediante la producción masiva.

Figura 3 - Prefabricación de elementos

2.4. Tecnología de la información

Las tecnologías de la información son herramientas que permiten crear, almacenar, transmitir y modificar información a través de software y hardware. En la actualidad, las tecnologías de la información te permiten generar un modelo idealizado para el análisis de la toma de decisiones a través de la transformación real de elementos en codificación informática por medio de software.

Estas tecnologías permiten ampliar el rango de colaboración entre los participantes del proyecto en tiempo real, además de facilitar las actividades asociadas a la ejecución del proyecto en una sola plataforma para mayor control.

2.4.1. Building Information Modeling (BIM)

La metodología BIM es la representación digital de las características físicas y funcionales de un proyecto, que sirve como un recurso de información compartido para la gestión de proyectos (Chen et al., 2018), de esta manera se logra interrelacionar entre todos los involucrados las especificaciones técnicas del proyecto en un modelo sincronizado y adaptable a las modificaciones (Figura 4). Según el U.S. National BIM standard considera tres funciones vinculadas a la metodología: modelado de información de construcción, referido a la producción y utilización de información en el ciclo de vida de los edificios; el modelo de información de construcción, referido a la representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación; y la gestión de información de información de construcción, referido al proceso de utilización de la información de construcción digital para un intercambio efectivo.. La metodología BIM se compone por 7 dimensiones, las cuales abarcan la idea, el boceto, el modelo gráfico tridimensional, el tiempo, el costo, el análisis de sostenibilidad y la gestión del ciclo de vida (Cuarteto, 2018). En conclusión, se puede discernir que la metodología BIM permite optimizar el control de la calidad por medio de la visualización del modelo final y el monitoreo, por medio del continuo flujo de información de los requerimientos de cada actividad para construir un elemento.

Figura 4 - Evolución BIM

2.4.2. Enterprise Resource Planning (ERP)

Las herramientas ERP (Enterprise Resource Planning por sus siglas en inglés) están definidas como un cuerpo unificado para interconectar los procesos y actividades (C. Lee, Lee, & Lee, 2018). Estos sistemas tienen origen en las prácticas de fabricación y planificación de la producción cuyo objetivo es la integración de todos los departamentos y funciones de una empresa en un único sistema informático que puede servir a las necesidades particulares de los distintos servicios (S. Lee & Kim, 2016; Ozorhon & Cinar, 2015). Las herramientas ERP proporcionan una única base de datos para la eliminación de las incompatibilidades de información, además una combinación y computarización de una gran cantidad de procesos como la planificación de obra de construcción, gestión financiera, gestión de recursos humanos, gestión de relaciones con los clientes, gestión de almacenes, adquisición y licitación. Los beneficios brindados por los sistemas son logrado en base a un adquisición modular que permite eliminar conflictos en puntos específicos de gestión como la facturación, las adquisiciones, entre otras (Figura 5). En conclusión, se comprende que los sistemas ERP sirve a las organizaciones para reforzar las asociaciones de cadena de suministro, mejorar la flexibilidad de la organización, aumentar la competencia de la toma de decisiones y disminuir la duración de la finalización del proyecto y gastos menores.

Figura 5 - Módulos ERP S10

2.4.3. Metodología BIM-ERP

La integración de herramientas tecnológicas amplifica la capacidad de administración de los proyectos brindando un análisis de extremo a extremo. La integración de la metodología BIM-ERP se basa en la utilización de la metodología BIM para el diseño, planificación, control y ejecución de los elementos de obra; y las herramientas ERP para la gestión de procesos que garanticen el cumplimiento de la planificación y programación a través de la gestión de recursos humanos, logística, administración, documentación y flujo de efectivo.

Por ese motivo, la metodología BIM-ERP asiste a la gestión de construcciones por medio de la sincronización y coordinación de ambas herramientas entre los involucrados para dinamizar los flujos operacionales.

METODOLOGÍA

La presente investigación está definida a nivel explicativo, se abordará el tema a través del análisis de la situación actual e identificación del problema crítico por medio del análisis de los casos de estudio. Por otro lado, la investigación tiene un diseño no experimental, ya que el alcance de la investigación es validar que el uso del software de gestión optimiza la cadena de producción de elemento prefabricados por medio de la mejora de los procedimientos involucrados de coordinación, producción e instalación en cuanto a reducción de actividades de comunicación no efectivas y reducción de tiempo de actividades.

A continuación, se presenta el procedimiento de la investigación definida en 6 etapas que marcan el proceso completo de reconocimiento, identificación, aplicación, resultados y análisis:

3.1 Descripción de casos de estudio

Para la presente investigación se solicitó a empresas constructoras e inmobiliarias información acerca de los proyectos de edificación inmobiliaria utilizaron losas prefabricadas en su construcción. Entre estos proyectos se seleccionó 3 casos de estudio con criterios en base a la variabilidad de dimensión de prefabricación, empresa proveedoras de planta diferentes, ubicaciones de proyecto diversas y disponibilidad de información. Cabe resaltar que la información proporcionada por las empresas constructores se entregó de manera confidencial debido a la implicancia de la investigación en encontrar problemas en la gestión de la cadena de producción, por lo tanto, no se detallara los nombres de las empresas ni información que pueda referenciar al proyecto descrito.

Caso de estudio N°1:

El presente proyecto presenta un predio de 240.05 m², con un frente de 12 m, destinado para la venta de departamento de 87 m² por unidad de vivienda, además de un departamento dúplex para el propietario en los niveles superiores. El alcance del proyecto es 1490 m² aproximadamente de área construida cuya conformación es de 2 departamentos por nivel en los primeros 4 niveles y un departamento dúplex en el quinto y sexto nivel.

El proceso constructivo de la edificación se desarrolló de manera híbrida con elementos prefabricados y elementos contruidos en el sitio. Los elementos prefabricados utilizados fueron las prelosa cuya cantidad total fue de 176 unidades de dimensiones variables, de la cual 14 unidades eran para losas macizas y el resto para losas aligeradas de 20 cm

Figura 7 - Elevación frontal caso de estudio N° 2

Caso de estudio N°3

El presente proyecto presenta un predio de 173.8 m² con un frente de 11 m, el predio será utilizado para la construcción de una edificación multifamiliar con capacidad para 8 familias, con área de departamento de 70 m². Cada nivel de la edificación posee 2 departamentos.

El proceso constructivo utilizado fue la construcción híbrida cuyo procedimiento involucra la construcción de elementos en el sitio y la utilización de elementos prefabricados en una determinada actividad constructiva. El elemento prefabricado utilizado fue la prelosa cuya cantidad total se aproximó a 90 unidades de las cuales 10 fueron base para la fabricación de losas macizas y el resto para losas aligeradas de 20 cm

3.2 Identificación de conflictos y análisis de la cadena de producción

En esta sección se presentará la cadena de producción real de cada caso de estudio para poder conformar una estandarización de la cadena de producción de elementos prefabricados y de esta manera poder evaluar objetivamente los puntos de conflicto entre interacción de contratista y proveedor.

Caso de estudio N°1:

Figura 9 - Cadena de producción caso de estudio N° 1

En el caso de estudio N°1, la cadena de producción de elementos prefabricados está definida por 17 procedimientos prioritarios que distinguieron el lead time logísticos. El flujograma presentado representa la cadena de producción de prelosas, en él se puede distinguir una secuencia de 5 grupos de procedimientos: Coordinación y planificación inicial, producción, control, coordinaciones de carga y entrega, recepción e instalación. En cada grupo de procedimientos se subdivide en actividades finitas y repetitivas, como es el caso de emisión de orden de compra y programación de producción respectivamente.

Los problemas que más frecuentaron en la cadena de producción de elementos prefabricados del proyecto se presentaron en los grupos de procedimiento de recepción e instalación. La lenta ubicación y reconocimiento, además del lento proceso de izaje fueron las principales razones de un trabajo deficiente. La causa principal a estos importantes problemas mencionados fue la condición de cercanía a una vía principal, el tiempo de obstrucción de vía debía ser mínimo, por lo que constantemente se decepcionaba los elementos prefabricados y se descargaban a una zona de acopio para luego ser trasladadas a la ubicación correspondiente en el proyecto.

Al analizar las condiciones presentes y la información de ambas partes involucradas, se pudo definir como causa raíz del problema el acuerdo realizado por parte del contratista de desencofrado directo a transporte con el fin de reducir el costo de la prelosa por medio de la eliminación del almacenamiento. El desencofrado directo no permitía al proveedor durante la fabricación organizar las prelosas según una planificación de descarga, sino realizar la carga según orden de desencofrado, lo cual a su vez obstruía la codificación de las prelosas de manera que no eran claras para la rápida ubicación de la posición de la prelosa en el proyecto.

Caso de estudio N°2:

Figura 10 - Cadena de producción caso de estudio N° 2

En el caso de estudio N°2, la cadena de producción de elementos prefabricados está definida por 19 procedimientos que unidos conforman el lead time logística que agrupa los tiempos de los procesos dentro el rango desde que se genera la orden de compra hasta que se instala. El flujograma presentado está dividido en 6 grupos de procedimientos denominados coordinación y planificación inicial, producción, control, coordinación de carga y entrega, recepción e instalación. De la misma manera, cada grupo está subdividido en un conjunto de 3 a 5 actividades finitas y repetitivas, denominadas repetitivas por la deficiencia del procedimiento al tener que realizarse constantemente a través de medios que no brindan una coordinación rápida.

Los problemas más incidentes en el proyecto se ubicaron durante los procedimientos de producción y entrega. El incumplimiento y ausencia de especificaciones y características técnicas reconocidas durante el proceso de instalación fue la más importante razón de los conflictos entre contratista y proveedor generando bajos rendimientos y pérdidas de utilidad por ambas partes. La principal causa fue las constantes modificaciones por cambios técnicos realizados por solicitud del

cliente y por conflictos entre sistemas generados por interferencia de los trazos como sanitarios, eléctricos y de ventilación; presentes en el tercio central del flujo de avance del proyecto.

Sin embargo, Al analizar la información proporcionada por las partes involucradas y delimitando hasta un nivel de detalle por actividad, se pudo reconocer que la causa raíz de la ausencia de calidad de los productos y las continuas descoordinaciones , no era un problema de comunicación tardía , sino a la falta de procesos y a la ausencia de flexibilidad en la cadena de producción, ya que las gestiones presentes estaban encaminadas a un sistema de cumplimiento de adquisiciones cuya carencia de rápida gestión de cambios es evidente debido a la falta de procedimientos de validación de producción y/o ausencia de compatibilización de información.

Por otro lado, en planta, a causa del mismo problema, se genera conflictos entre abastecimiento y producción por sobrepasar el límite de stock mínimo de material y en otras ocasiones, incrementar el costo del inventario, a causa de tratar de apoyar al contratista a través de producciones de emergencia entregadas en corto tiempo.

Caso de estudio N°3

Figura 11 - Cadena de producción caso de estudio N° 3

En el caso de estudio N°3, la cadena de producción de elemento prefabricados está definida por 18 procedimientos prioritarios distribuidos en orden secuencial. Estos grupos conforman el lead time del pedido, entre ellos se encuentran: Coordinación y planificación, producción, control, coordinación de carga y entrega, recepción e instalación. Cada uno de los grupos contiene actividades de coordinación y producción directa e indirecta a la cadena.

Los problemas que más repercutieron en pérdidas de costo y tiempo del proyecto ocurrieron en los grupos de coordinación de carga y entrega, y recepción. El retraso en producción en obra debido a las constantes paralizaciones por incumplimiento de parámetros de seguridad y a retrasos por rendimientos del personal obrero generaron grandes desfases del cronograma del proyecto con el cronograma maestro y, por lo tanto, las entregas de prelosas en su gran mayoría tuvo que ser devuelta y/o reprogramada para otra fecha incurriendo en costo de transporte y almacenamiento inevitable causando pérdidas para ambas partes y molestias al proveedor.

Analizando la situación presentada, con información y opinión de las partes involucradas, y vinculándolo a factores posibles de controlar en la cadena de producción; se puede afirmar que la ausencia de procedimientos de coordinación de entrega o monitorio del avance del proyecto por

parte de planta genero gastos innecesarios que pudieron ser reducidos. Es por ese motivo que, en la tercera incidencia de reprogramación, el contratista empezó a validar una semana antes y un día antes de envió de carguío la producción en planta y carga de prelosas en el transporte.

En base a la situación presentada en este caso de estudio se puede la independencia de gestiones repercute en costo y tiempo a cada una de los involucrados, es necesario una participación activa del proveedor.

3.3 Conformación de la cadena de producción actual de elementos prefabricados en Perú

En esta sección, se conforma y se analiza la cadena de producción actual a través de compatibilización de actividades de las cadenas de producción observadas en los casos de estudio.

En base a la información revisada, se puede concluir que la cadena de producción de elementos prefabricados está conformada por 6 grupos de procedimientos: Coordinación y planificación, producción, control, coordinación de carga y entrega, transporte, e instalación; Estos grupos están conformado por 4 a 6 actividades, cuya inclusión en la cadena no garantiza el éxito de las mismas debido a que se debe evaluar su eficiencia al ser realizadas, en caso contrario se denominarían actividades repetitivas improductivas. A continuación se presenta la cadena de producción de elementos prefabricados conformada por la muestra de estudio de prelosas.

Figura 12 - Cadena de producción estandarizada actual

Esta cadena está conformada por 22 procedimientos normalmente presentes en lead time de elementos prefabricados. Sin embargo, como ya se mencionó, su inclusión total no garantiza la culminación exitosa de la cadena debido a que frente a un mercado de condiciones altamente variable es necesario que la gestión de la cadena de producción de elementos prefabricados presente características de eficiencia, flexibilidad, integración y dinamismo. Estas características se definen en base a los problemas presentados por los casos de estudio como la coordinación de gestiones, integración de base de datos, gestión integrada de modificaciones técnicas y respuesta dinámica entre proveedor y contratista.

3.4 Simulación de la cadena de producción propuesta mediante BIM – ERP

En la siguiente sección se abordará herramientas que permitan atacar los problemas y necesidades de la gestión de la cadena de producción en elementos prefabricados a través de herramientas integradas y dinámicas que van acorde al desarrollo global tecnológico.

Para la simulación de la nueva cadena de producción se desarrollado, en primera instancia, el modelado de la estructura de cada caso de estudio en el software Archicad, el cual pertenece a la empresa GRAPHISOFT y a la familia BIM. El modelo contemplo una estructuración a base del uso de prelosas, reflejando las características y funcionalidades reales en el proyecto construido. Luego, se procedió a enlazar los datos del modelo con la gestión administrativa de los elementos por medio de las herramientas ERP, cuyo software para la presente investigación fue S10 ERP de la empresa SISTEMA 10, con el fin de optimizar la gestión de comunicación y gestión de cambios, además de agilizar los procesos involucrados en la gestión administrativa. A continuacion se describirá el proceso de la simulación.

Metodología BIM – ERP aplicado al caso de estudio N°1:

Paso 1 – Modelado de la edificación

El modelo del caso de estudio refleja la realidad del proyecto porque tendrá la función de monitorear el avance del proyecto por obra y planta para la coordinación optima de la fecha de producción y entrega. Además, el modelo aportará durante la fabricación de la prelosa, ya que se podrá visualizar las condiciones y características actualizadas, en tiempo real, del elemento hasta el día de su producción, facilitando la gestión de cambios técnicos y garantizando la conformidad del producto a entregar.

Figura 13 - Modelado BIM Caso de estudio N°1

Paso 2 – Integración de base de datos

El sistema ERP por medio de su módulo de presupuesto permite tener un alcance compatibilizado definido a través del enlace entre el sistema y el modelo BIM, además de facilitar la programación inicial de producción y entrega. Este proceso es fundamental para integrar los sistemas, ya que todo dato utilizado en la cadena de producción será extraído del módulo de presupuesto.

Esquema de prelosas					
ID Elemento	Cantidad	Sección 2D	Espeor	Volumen Neto	Área
P1 - LA1	1		0.05	0.28	5.75
P1 - LA2	1		0.05	0.27	5.62
P1 - LA3	1		0.05	0.26	5.34
P1 - LA4	1		0.05	0.30	6.13
P1 - LA5	1		0.05	0.26	5.29
P1 - LA6	1		0.05	0.30	6.18
P1 - LA7	1		0.05	0.28	5.75
P1 - LA8	1		0.05	0.27	5.62
P1 - LA9	1		0.05	0.27	5.53
P1 - LA10	1		0.05	0.20	4.02
P1 - LA11	1		0.05	0.39	8.07
P1 - LA12	1		0.05	0.32	6.65
P1 - LA13	1		0.05	0.21	4.38
P1 - LA14	1		0.05	0.32	6.58
P1 - LA15	1		0.05	0.41	8.40
P1 - LA16	1		0.05	0.19	3.91
P1 - LA17	1		0.05	0.34	7.03
P1 - LA18	1		0.05	0.34	7.03
P1 - LA19	1		0.05	0.24	5.00
P1 - LA20	1		0.05	0.36	7.30

Figura 14 - Cuantificación de m2 de prelosa extraídos del BIM para caso de estudio N° 1

001 Edificación multifamiliar		C.D.: S/22,219.09		Cantidad Obra
Fecha : 23/10/2019		Lugar: LIMA		Jornada : 8 horas		« Items 200 »	
☐	Item	Item Alterno	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
☐	01	☐	ESTRUCTURAS				22,219.09
☐	01.01	☐	LOSA DE PISO				22,219.09
☐	01.01.01	☐	FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				20,049.02
☐	01.01.02	☐	INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				2,170.07

Figura 15 - Presupuesto compatibilizado resumen de caso de estudio N° 1

Hoja del Presupuesto							
001 Edificación multifamiliar		C.D.: S/22,219.09		Cantidad Obra			
Fecha : 23/10/2019		Lugar : LIMA		Jornada : 8 horas « Items 200 »			
Item	Item Altern	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
01		ESTRUCTURAS				22,219.09	
01.01		LOSA DE PISO				22,219.09	
01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				20,049.02	
01.01.01.01		P1 - LA1				835.72	
01.01.01.02		P1 - LA2				829.53	
01.01.01.03		P1 - LA3				779.01	
01.01.01.04		P1 - LA4				903.76	
01.01.01.05		P1 - LA5				774.40	
01.01.01.06		P1 - LA6				908.37	
01.01.01.07		P1 - LA7				835.72	
01.01.01.08		P1 - LA8				829.53	
01.01.01.09		P1 - LA9				813.87	
01.01.01.10		P1 - LA10				598.81	
01.01.01.11		P1 - LA11				1,183.36	
01.01.01.12		P1 - LA12				975.48	
01.01.01.13		P1 - LA13				649.14	
01.01.01.14		P1 - LA14				967.91	
01.01.01.15		P1 - LA15				1,219.04	
01.01.01.16		P1 - LA16				580.07	
01.01.01.17		P1 - LA17				1,023.60	
01.01.01.18		P1 - LA18				1,023.60	
01.01.01.19		P1 - LA19				726.35	
01.01.01.20		P1 - LA20				1,088.52	
01.01.01.21		P1 - LA21				470.89	
01.01.01.22		P1 - LA22				401.38	
01.01.01.23		P1 - LA23				255.28	
01.01.01.24		P1 - LA24				323.48	
01.01.01.25		P1 - LA25				338.03	
01.01.01.26		P1 - LA26				115.05	
01.01.01.27		P1 - LA27				355.97	
01.01.01.28		P1 - LA28				243.15	

Figura 16 - Presupuesto compatibilizado de planta: Fabricación de caso de estudio N° 1

Hoja del Presupuesto							
001 Edificación multifamiliar		C.D.: S/22,219.09		Cantidad Obra			
Fecha : 23/10/2019		Lugar : LIMA		Jornada : 8 horas « Items 200 »			
Item	Item Altern	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
01		ESTRUCTURAS				22,219.09	
01.01		LOSA DE PISO				22,219.09	
01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				20,049.02	
01.01.02		INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				2,170.07	
01.01.02.01		P1 - LA1				91.54	
01.01.02.02		P1 - LA2				89.47	
01.01.02.03		P1 - LA3				85.01	
01.01.02.04		P1 - LA4				97.59	
01.01.02.05		P1 - LA5				84.22	
01.01.02.06		P1 - LA6				98.39	
01.01.02.07		P1 - LA7				91.54	
01.01.02.08		P1 - LA8				89.47	
01.01.02.09		P1 - LA9				88.04	
01.01.02.10		P1 - LA10				64.00	
01.01.02.11		P1 - LA11				128.47	
01.01.02.12		P1 - LA12				105.87	
01.01.02.13		P1 - LA13				69.73	
01.01.02.14		P1 - LA14				104.75	
01.01.02.15		P1 - LA15				133.73	
01.01.02.16		P1 - LA16				62.25	
01.01.02.17		P1 - LA17				111.92	
01.01.02.18		P1 - LA18				111.92	
01.01.02.19		P1 - LA19				79.60	
01.01.02.20		P1 - LA20				116.22	
01.01.02.21		P1 - LA21				50.15	
01.01.02.22		P1 - LA22				43.62	
01.01.02.23		P1 - LA23				27.86	
01.01.02.24		P1 - LA24				33.43	
01.01.02.25		P1 - LA25				33.91	
01.01.02.26		P1 - LA26				11.94	
01.01.02.27		P1 - LA27				37.89	
01.01.02.28		P1 - LA28				27.54	

Figura 17 - Presupuesto compatibilizado de obra: Instalación de caso de estudio N° 1

Paso 3 – Fabricación del elemento

El inicio del proceso de fabricación será de acuerdo a la magnitud de producción de planta estimada en base al rendimiento del proveedor definidos en el contrato de obra y a la situación real del proyecto. Se planificará la producción a través del modelado BIM proporcionado y el sistema ERP facilitando su gestión de adquisición de materiales y producción diaria.

El modelado BIM permitirá tener el registro de materiales necesarios para la producción de la entrega, además de facilitar el control de calidad de supervisión de planta por medio de la visualización de los componentes de la prelosa.

El sistema ERP permitirá solicitar el material de acuerdo a la velocidad de producción, esta herramienta facilitará el control de stock de material en obra a través de los módulos de compras y almacenes, y optimizará la gestión de desperdicios generados controlando por medio de reportes de las cantidades reales y planificados a través del módulo de gerencia de proyectos.

Figura 18 - Modulación de prelosa para el caso de estudio N° 1

Esquema de acero			
ID Elemento	Material de Construc...	Previsualización Planta 2D	Longitud
P1 - LA1	Acero 4mm	—	11.75
P1 - LA1	Acero 8mm	—	40.35
P1 - LA2	Acero 4mm	—	11.45
P1 - LA2	Acero 8mm	—	42.68
P1 - LA3	Acero 4mm	—	11.40
P1 - LA3	Acero 8mm	—	37.56
P1 - LA4	Acero 4mm	—	14.25
P1 - LA4	Acero 8mm	—	43.82
P1 - LA5	Acero 4mm	—	11.40
P1 - LA5	Acero 8mm	—	37.56
P1 - LA6	Acero 4mm	—	14.25
P1 - LA6	Acero 8mm	—	43.82
P1 - LA7	Acero 4mm	—	11.75
P1 - LA7	Acero 8mm	—	40.35
P1 - LA8	Acero 4mm	—	11.45
P1 - LA8	Acero 8mm	—	42.68
P1 - LA9	Acero 4mm	—	11.80
P1 - LA9	Acero 8mm	—	40.56

Figura 19 - Cuantificación de acero con BIM para caso de estudio N° 1

Paso 4 – Coordinación de entrega y carga de material

Al finalizar la fabricación es necesario visualizar el estado de la obra, para poder validar que en efecto él envió del carguío y/o coordinar con el jefe del proyecto la ampliación de tiempo en la entrega. En caso, la situación del proyecto esté de acuerdo a lo planificado, el encargado de planta puede diseñar la distribución y la codificación de prelosas en el transporte por medio del modelado BIM para controlar los desplazamientos durante el transporte y la rapidez de ubicación y descarga de prelosas por medio de una codificación compatibilizada entre ambas partes.

El sistema ERP en el módulo de gerencia de proyectos se podrá aplicar la filosofía lean a través del sistema las planner, se levantará restricciones de cada entrega desde la disponibilidad y funcionalidad de las unidades de transporte hasta la documentación requerida para anexar al pedido, estas restricciones serán levantadas en coordinaciones entre obra y planta.

Figura 20 - Seguimiento de avance del proyecto

■ Preparado

■ En proceso

■ Pendiente

Figura 21 - Planificación de distribución de prelosas sobre transporte caso de estudio N° 1

Paso 5 – Recepción, descarga e instalación del carguío de prelosas

El procedimiento de recepción y descarga se debe realizar con el modelado BIM del carguío y de la edificación para aumentar el rendimiento de ubicación y descarga directa por medio de la visualización del elemento y su posición en el proyecto.

Figura 22 - Descarga directa de rápida ubicación caso de estudio N° 1

Metodología BIM – ERP aplicado al caso de estudio N°2:

Paso 1 – Modelado de la edificación

Figura 23 - Modelado BIM de caso de estudio N° 2

Paso 2 – Integración de base de datos

Esquema de Prelas					
ID Elemento	Cantidad	Sección 2D	Espesor	Volumen Neto	Área
P1 - LA1	1		0.05	0.34	8.91
P1 - LA2	1		0.05	0.21	4.19
P1 - LA3	1		0.05	0.60	12.10
P1 - LA4	1		0.05	0.53	10.68
P1 - LA5	1		0.05	0.06	1.21
P1 - LA6	1		0.05	0.06	1.21
P1 - LA7	1		0.05	0.04	0.73
P1 - LA8	1		0.05	0.35	7.10
P1 - LA9	1		0.05	0.41	8.19
P1 - LA10	1		0.05	0.37	7.48
P1 - LA11	1		0.05	0.30	5.95
P1 - LA12	1		0.05	0.32	6.52
P1 - LA13	1		0.05	0.33	6.72
P1 - LA14	1		0.05	0.17	3.35
P1 - LA15	1		0.05	0.25	4.97
P1 - LA16	1		0.05	0.25	5.11
P1 - LM01	1		0.15	0.43	2.84
P1 - LM02	1		0.15	0.59	3.96

Figura 24 - Cuantificación de m2 de prelosa extraídos del BIM para caso de estudio N° 2

002 Caso de estudio 2			C.D.:	S/15,179.98	Cantidad Obra
Fecha: 23/10/2019		Lugar: LIMA	Jornada: 8 horas		« Items 116 »			
	Item	Item Altern.	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
☐	01		ESTRUCTURAS				15,179.98	
☐	01.01		LOSA DE PISO				15,179.98	
☐	01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				13,706.68	
☐	01.01.02		INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				1,471.30	

Figura 25 - Presupuesto compatibilizado resumen de caso de estudio N° 2

Hoja del Presupuesto							
002 Caso de estudio 2				C.D.:	S/15,179.98	Cantidad Obra	
Fecha : 23/10/2019 Lugar : LIMA				Jornada : 8 horas « Items 116 »			
	Item	Item Altern.	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
☐	01		ESTRUCTURAS				15,179.98
☐	01.01		LOSA DE PISO				15,179.98
☐	01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				13,708.68
☐	01.01.01.01		P1 - LA1				1,017.05
☐	01.01.01.02		P1 - LA2				614.30
☐	01.01.01.03		P1 - LA3				1,774.97
☐	01.01.01.04		P1 - LA4				1,559.61
☐	01.01.01.05		P1 - LA5				195.52
☐	01.01.01.06		P1 - LA6				197.76
☐	01.01.01.07		P1 - LA7				119.90
☐	01.01.01.08		P1 - LA8				1,071.44
☐	01.01.01.09		P1 - LA9				1,206.95
☐	01.01.01.10		P1 - LA10				1,111.40
☐	01.01.01.11		P1 - LA11				889.73
☐	01.01.01.12		P1 - LA12				963.56
☐	01.01.01.13		P1 - LA13				980.89
☐	01.01.01.14		P1 - LA14				503.60
☐	01.01.01.15		P1 - LA15				732.30
☐	01.01.01.16		P1 - LA16				769.70
☐	01.01.02		INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				1,471.30

Figura 26 - Presupuesto compatibilizado de planta: Fabricación de caso de estudio N° 2

Hoja del Presupuesto							
002 Caso de estudio 2				C.D.:	S/15,179.98	Cantidad Obra	
Fecha : 23/10/2019 Lugar : LIMA				Jornada : 8 horas « Items 116 »			
	Item	Item Altern.	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
☐	01		ESTRUCTURAS				15,179.98
☐	01.01		LOSA DE PISO				15,179.98
☐	01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				13,708.68
☐	01.01.02		INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				1,471.30
☐	01.01.02.01		P1 - LA1				110.01
☐	01.01.02.02		P1 - LA2				66.70
☐	01.01.02.03		P1 - LA3				192.63
☐	01.01.02.04		P1 - LA4				170.03
☐	01.01.02.05		P1 - LA5				19.26
☐	01.01.02.06		P1 - LA6				19.26
☐	01.01.02.07		P1 - LA7				11.62
☐	01.01.02.08		P1 - LA8				113.03
☐	01.01.02.09		P1 - LA9				130.38
☐	01.01.02.10		P1 - LA10				119.08
☐	01.01.02.11		P1 - LA11				94.72
☐	01.01.02.12		P1 - LA12				103.80
☐	01.01.02.13		P1 - LA13				106.98
☐	01.01.02.14		P1 - LA14				53.33
☐	01.01.02.15		P1 - LA15				79.12
☐	01.01.02.16		P1 - LA16				81.35

Figura 27 - Presupuesto compatibilizado de obra: Instalación de caso de estudio N° 2

Paso 3 – Fabricación del elemento

Figura 28 - Modulación de prelosa para el caso de estudio N° 2

Esquema de acero			
ID Elemento	Material de Construc...	Previsualización Planta 2D	Longitud
P1 - LA 1	Acero 4mm	—	15.82
P1 - LA 1	Acero 8mm	—	49.27
P1 - LA 2	Acero 4mm	—	8.46
P1 - LA 2	Acero 8mm	—	30.48
P1 - LA 3	Acero 4mm	—	27.90
P1 - LA 3	Acero 8mm	—	84.32
P1 - LA 4	Acero 4mm	—	23.25
P1 - LA 4	Acero 8mm	—	74.40
P1 - LA 5	Acero 4mm	—	2.20
P1 - LA 5	Acero 8mm	—	13.28
P1 - LA 6	Acero 4mm	—	2.64
P1 - LA 6	Acero 8mm	—	13.28
P1 - LA 7	Acero 4mm	—	1.32
P1 - LA 7	Acero 8mm	—	8.30
P1 - LA 8	Acero 4mm	—	16.84
P1 - LA 8	Acero 8mm	—	55.92
P1 - LA 9	Acero 4mm	—	16.84
P1 - LA 9	Acero 8mm	—	60.58
P1 - LA 10	Acero 4mm	—	16.84
P1 - LA 10	Acero 8mm	—	55.92
P1 - LA 11	Acero 4mm	—	13.52
P1 - LA 11	Acero 8mm	—	45.36
P1 - LA 12	Acero 4mm	—	13.52
P1 - LA 12	Acero 8mm	—	49.14
P1 - LA 13	Acero 4mm	—	13.53
P1 - LA 13	Acero 8mm	—	48.30

Figura 29 - Cuantificación de acero con BIM para caso de estudio N° 2

Paso 4 – Coordinación de entrega y carga de material

Figura 30 - Planificación de distribución de prelosas sobre transporte caso de estudio N° 2

Paso 5 – Recepción, descarga e instalación del carguío de prelosas

Figura 31 - Descarga directa de rápida ubicación caso de estudio N° 2

Metodología BIM – ERP aplicado al caso de estudio N°3:

Paso 1 – Modelado de la edificación

Figura 32 - Modelado BIM de caso de estudio N° 3

Paso 2 – Integración de base de datos

Esquema de Prelosas					
ID Elemento	Cantidad	Sección 2D	Espeor	Volumen Neto	Área
P1 - LA1	1		0.05	0.31	6.31
P1 - LA2	1		0.05	0.35	6.97
P1 - LA3	1		0.05	0.29	5.88
P1 - LA4	1		0.05	0.49	9.95
P1 - LA5	1		0.05	0.32	6.46
P1 - LA6	1		0.05	0.35	7.14
P1 - LA7	1		0.05	0.25	5.03
P1 - LA8	1		0.05	0.35	6.96
P1 - LA9	1		0.05	0.36	7.17
P1 - LA10	1		0.05	0.49	9.94
P1 - LA11	1		0.05	0.26	5.14
P1 - LA12	1		0.05	0.35	7.13
P1 - LA13	1		0.05	0.27	5.39
P1 - LA14	1		0.05	0.34	6.90
P1 - LA15	1		0.05	0.06	1.18
P1 - LA16	1		0.05	0.27	5.52
P1 - LA17	1		0.05	0.35	7.07
P1 - LA18	1		0.05	0.06	1.17
P1 - LM1	1		0.15	0.77	5.12
P1 - LM2	1		0.15	1.38	9.19

Figura 33 - Cuantificación de m2 de prelosa extraídos del BIM para caso de estudio N° 3

003 Caso de estudio 3			C.D.: S/18,322.92		Cantidad Obra
Fecha: 23/10/2019 Lugar: LIMA			Jornada: 8 horas		< Items 130 >			
	Item	Item Altern.	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
☐	01		ESTRUCTURAS				18,322.92	
☐	01.01		LOSA DE PISO				18,322.92	
☐	01.01.01		+ FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				16,558.86	
☐	01.01.02		+ INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				1,772.06	

Figura 34 - Presupuesto compatibilizado resumen de caso de estudio N° 3

Hoja del Presupuesto							
003 Caso de estudio 3				C.D.:	S/18,322.92	Cantidad Obra	
Fecha: 23/10/2019 Lugar: LIMA				Jornada: 8 horas	« Items 130 »		
Item	Item Altern.	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
01		ESTRUCTURAS				18,322.92	
01.01		LOSA DE PISO				18,322.92	
01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				16,550.86	
01.01.01.01		P1 - LA1				918.84	
01.01.01.02		P1 - LA2				1,041.41	
01.01.01.03		P1 - LA3				850.52	
01.01.01.04		P1 - LA4				1,475.35	
01.01.01.05		P1 - LA5				944.39	
01.01.01.06		P1 - LA6				1,067.75	
01.01.01.07		P1 - LA7				809.86	
01.01.01.08		P1 - LA8				1,041.93	
01.01.01.09		P1 - LA9				1,052.41	
01.01.01.10		P1 - LA10				1,472.87	
01.01.01.11		P1 - LA11				762.94	
01.01.01.12		P1 - LA12				1,067.61	
01.01.01.13		P1 - LA13				793.51	
01.01.01.14		P1 - LA14				1,018.37	
01.01.01.15		P1 - LA15				185.75	
01.01.01.16		P1 - LA16				814.23	
01.01.01.17		P1 - LA17				1,048.29	
01.01.01.18		P1 - LA18				184.83	
01.01.02		INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				1,772.06	

Figura 35 - Presupuesto compatibilizado de planta: Fabricación de caso de estudio N° 3

Hoja del Presupuesto							
003 Caso de estudio 3				C.D.:	S/18,322.92	Cantidad Obra	
Fecha: 23/10/2019 Lugar: LIMA				Jornada: 8 horas	« Items 130 »		
Item	Item Altern.	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
01		ESTRUCTURAS				18,322.92	
01.01		LOSA DE PISO				18,322.92	
01.01.01		FABRICACIÓN DE PRE-LOSA				16,550.86	
01.01.02		INSTALACIÓN DE PRE-LOSA				1,772.06	
01.01.02.01		P1 - LA1				100.46	
01.01.02.02		P1 - LA2				110.96	
01.01.02.03		P1 - LA3				93.61	
01.01.02.04		P1 - LA4				158.40	
01.01.02.05		P1 - LA5				102.84	
01.01.02.06		P1 - LA6				113.67	
01.01.02.07		P1 - LA7				80.08	
01.01.02.08		P1 - LA8				110.80	
01.01.02.09		P1 - LA9				114.15	
01.01.02.10		P1 - LA10				158.24	
01.01.02.11		P1 - LA11				81.83	
01.01.02.12		P1 - LA12				113.51	
01.01.02.13		P1 - LA13				85.81	
01.01.02.14		P1 - LA14				109.85	
01.01.02.15		P1 - LA15				18.79	
01.01.02.16		P1 - LA16				87.88	
01.01.02.17		P1 - LA17				112.55	
01.01.02.18		P1 - LA18				18.63	

Figura 36 - Presupuesto compatibilizado de obra: Instalación de caso de estudio N° 3

Paso 3 – Fabricación del elemento

Figura 37 - Modulación de prelosa para el caso de estudio N° 3

Esquema de Muros			
ID Elemento	Material de Construcción	Revisualización Planta 2D	Longitud
P1 - LA 1	Acero 4mm	—	12.68
P1 - LA 1	Acero 8mm	—	44.79
P1 - LA 2	Acero 4mm	—	16.20
P1 - LA 2	Acero 8mm	—	52.53
P1 - LA 3	Acero 4mm	—	11.43
P1 - LA 3	Acero 8mm	—	40.87
P1 - LA 4	Acero 4mm	—	23.70
P1 - LA 4	Acero 8mm	—	72.25
P1 - LA 5	Acero 4mm	—	13.38
P1 - LA 5	Acero 8mm	—	46.16
P1 - LA 6	Acero 4mm	—	16.98
P1 - LA 6	Acero 8mm	—	54.06
P1 - LA 7	Acero 4mm	—	10.80
P1 - LA 7	Acero 8mm	—	37.32
P1 - LA 8	Acero 4mm	—	16.20
P1 - LA 8	Acero 8mm	—	52.87
P1 - LA 9	Acero 4mm	—	15.80
P1 - LA 9	Acero 8mm	—	50.76
P1 - LA 10	Acero 4mm	—	23.70
P1 - LA 10	Acero 8mm	—	71.91
P1 - LA 11	Acero 4mm	—	11.32
P1 - LA 11	Acero 8mm	—	38.28
P1 - LA 12	Acero 4mm	—	16.98
P1 - LA 12	Acero 8mm	—	54.23
P1 - LA 13	Acero 4mm	—	10.80
P1 - LA 13	Acero 8mm	—	40.04

Figura 38 - Cuantificación de acero con BIM para caso de estudio N° 3

Paso 4 – Coordinación de entrega y carga de material

Figura 39 - Planificación de distribución de prelosas sobre transporte caso de estudio N° 3

Paso 5 – Recepción, descarga e instalación del carguío de prelosas

Figura 40 - Descarga directa de rápida ubicación caso de estudio N° 3

3.5 Cadena de producción BIM – ERP

En esta sección, se consolidará la cadena de producción propuesta utilizando la metodología BIM – ERP y se analizará la mejora en el proceso de la cadena de producción a través del análisis de optimización de procedimientos presentes.

La metodología BIM y el sistema ERP siguen lineamientos y objetivos muy claros respecto a la integración de sistemas con el fin de hacer más eficiente el flujo del proyecto a través de la reducción de actividades que no generan valor como la repetitiva coordinación y el intercambio de información y datos incompatibles entre las partes involucradas. A continuación se presenta la nueva cadena de producción propuesta con las herramientas informáticas BIM y ERP.

Figura 41 - Cadena de producción BIM - ERP

La presente cadena de producción cuanto con los 6 grupos de procedimientos constantes: coordinación y planificación, producción, control, coordinación y carga, recepción, e instalación.

Por otro lado, la cantidad de actividades presentes no se ha reducido significativamente, pero no significa que no se haya modificado u optimizado el proceso. Un ejemplo claro es durante el proceso de entrega de planos en la cadena actual con condiciones de no usar BIM, el 90% de proyectos en el mundo presentan incompatibilidades entre especialidades durante la etapa de licitación y el 68% durante la etapa de construcción (Donato & Bocconcino, 2018). Si no se usara BIM, el tiempo del procedimiento se alargaría o en el peor de los casos, no se detectaría hasta su instalación; de igual manera sucedería con las modificaciones realizadas por el cliente.

Otro ejemplo resaltante, es la coordinación entre las programaciones de material, transporte, producción y entrega. La programación de producción o la programación de entrega, si se quisiera fijar a una fecha según el avance del contratista sería probablemente incompatible entre los involucrados debido a las reprogramaciones de adelanto o retraso. En cambio, con el sistema ERP cualquier reprogramación se reasigna automáticamente para los involucrados permitiendo a planta tener el control y autorización para realizar el cambio de fecha al saber su disponibilidad.

Entonces si bien la metodología BIM – ERP ha eliminado pocos procesos, ha optimizado casi en su totalidad los procedimientos mejorándolos en eficiencia de actividad y calidad del proceso completo de la cadena de producción.

3.6 Cuantificación de pérdidas por incompatibilidad técnica

En esta sección, se centrará en analizar la mejora en una de las principales causas de pérdidas en la cadena de producción de elementos prefabricados por medio del análisis de la cuantificación de pérdidas en la cadena actual y la cadena propuesta BIM – ERP”

Para el presente análisis, se ha utilizado el registro de prelosas devueltas u observadas por los siguientes motivos:

- Prelosas con dimensiones inferiores o mayores a la realidad
- Interferencias reconocidas durante la instalación

Las incompatibilidades técnicas son puntos de conflicto que se detectan en planos, estos conflictos son generados por dos principales razones: errores durante el dibujo en CAD o interferencia entre especialidades.

Caso de estudio N° 1

La producción de elementos prefabricados en el caso de estudio N°1 fue en base a los planos contractuales entregados por la empresa contratista, posterior a la emisión de la orden de compra. En base a estos planos, se generó el diseño de las prelosas dando un total de 176 prelosas distribuidas en todos los niveles de la edificación.

A continuación se presenta los reportes generados en base a los registros de producción que posee planta respecto a la entrega de prelosas en el caso de estudio N°1

Figura 42 - Grafica circular de cantidades de conflictos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 1

Figura 43 - Incidencia de conflictos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 1

Según el registro recopilado, se puede validar que las observaciones por incompatibilidad técnica representan una incidencia muy baja en comparación a la totalidad de prelosas suministradas. Sin embargo, haciendo un análisis cuantitativo en función del costo, se tiene una estimación más precisa y objetiva de la influencia de los conflictos.

Tabla 4 - Tabla de cuantificación de costos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 1

Empresa		Proveedor caso de estudio 1				
Proyecto		Caso de estudio 1				
Ítem	Código	Tipo de prelosa	Observación	Clasificación de obs.	Costo Contractual	Costo mitigación
1	TC - 101	Aligerada	Interferencia viga chata con Desagüe	Incomp. Técnica	S/ 519.87	S/ 519.87
2	TC - 110	Aligerada	Dimensión H inferior en 10 cm	Incomp. Técnica	S/ 671.83	S/ 128.90
Total					S/ 1,191.70	S/ 648.77

Los conflictos registrados presentaron alta y media variabilidad con respecto a los requerimientos técnicos reales, por lo que la solución aplicada fue refabricar el elemento de alta variabilidad con las nuevas características y condiciones, y encofrar la zona vacía, aplicar un aditivo adherente y continuar con el procedimiento constructivo. Estos conflictos repercutieron en tiempo, aproximadamente 1 a 2 días de trabajo en obra por carguío y a además de costos de mitigación.

En conclusión, en el caso de investigación N° 1, con una incidencia de conflictos por incompatibilidad técnica de 1%, un costo adicional de 648.77 soles de un presupuesto de 22,219.09 soles y las características de mitigación mencionadas; se puede concluir que, en el caso de estudio, las incompatibilidades técnicas no representaron un costo significativo al presupuesto total. Por lo que, solucionar este conflicto representaría un ahorro del 3%

Caso de estudio N° 2

La producción de elementos prefabricados en el caso de estudio N°2 fue en base a los planos contractuales entregados por la empresa contratista, posterior a la emisión de la orden de compra. En base a estos planos, se generó el diseño de las prelosas dando un total de 72 prelosas de grandes dimensiones distribuidas en todos los niveles de la edificación.

A continuación se presenta los reportes generados en base a los registros de producción que posee planta respecto a la entrega de prelosas en el caso de estudio N°2

Figura 44 - Grafica circular de cantidades de conflictos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 2

Figura 45 - Incidencia de conflictos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 2

Según el registro recopilado, se puede validar que las observaciones por incompatibilidad técnica representan una cantidad incidencia baja en comparación a la totalidad de prelosas suministradas. Sin embargo, haciendo un análisis cuantitativo en función del costo, se tiene una estimación más precisa y objetiva de la influencia de los conflictos.

Tabla 5 - Tabla de cuantificación de costos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 2

Empresa		Proveedor caso de estudio 2					
Proyecto		Caso de estudio 2					
Ítem	Código	Tipo de prelosa	Observación	Clasificación de obs.	Costo Contractual		Costo mitigación
1	EV - 107	Aligerada	Interferencia viga chata con pase de luz	Incomp. Técnica	S/	519.87	S/ 519.87

2	EV - 212	Aligerada	Interferencia arquitectónica con estructura	Incomp. Técnica	S/ 383.90	S/ 383.90
7	EV - 307	Aligerada	Interferencia viga chata con pase de luz	Incomp. Técnica	S/ 519.87	S/ 519.87
Total					S/ 1,423.64	S/ 1,423.64

Los tres conflictos registrados presentaron alta variabilidad con respecto a los requerimientos técnicos reales, por lo que la solución aplicada fue refabricar los elementos con las nuevas características y condiciones. Estos conflictos repercutieron en tiempo, aproximadamente 1 a 2 días de trabajo en obra por elemento y a además de costos de mitigación.

En conclusión, en el caso de investigación N° 2, con una incidencia de conflictos por incompatibilidad técnica de 4%, un costo adicional de 1,423.64 soles de un presupuesto de 15,179.98 soles y las características de mitigación mencionadas; se puede concluir que, en el caso de estudio, las incompatibilidades técnicas representaron un costo relativamente significativo al presupuesto total. Por lo que, solucionar este conflicto representaría un ahorro del 10%

Caso de estudio N° 3

La producción de elementos prefabricados en el caso de estudio N°3 fue en base a los planos contractuales entregados por la empresa contratista, posterior a la emisión de la orden de compra. En base a estos planos, se generó el diseño de las prelosas dando un total de 90 prelosas distribuidas en todos los niveles de la edificación.

A continuación se presenta los reportes generados en base a los registros de producción que posee planta respecto a la entrega de prelosas en el caso de estudio N°3

Figura 46 - Gráfica circular de cantidades de conflictos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 3

Figura 47 - Incidencia de conflictos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 3

Según el registro recopilado, se puede validar que las observaciones por incompatibilidad técnica representan una cantidad incidencia baja en comparación a la totalidad de prelosas suministradas. Sin embargo, haciendo un análisis cuantitativo en función del costo, se tiene una estimación más precisa y objetiva de la influencia de los conflictos.

Tabla 6 - Tabla de cuantificación de costos de incompatibilidad técnica en caso de estudio N° 3

Empresa		Proveedor caso de estudio 3						
Proyecto		Caso de estudio 3						
Ítem	Código	Tipo de prelosa	Observación	Clasificación de obs.	Costo Contractual		Costo mitigación	
1	AE - 107	Aligerada	Error de planos	Incomp. Técnica	S/	519.87	S/	519.87

2	AE - 212	Aligerada	Error de planos	Incomp. Técnica	S/ 383.90	S/ 383.90
3	AE - 204	Aligerada	Interferencia pase de luz con Desagüe	Incomp. Técnica	S/ 543.86	S/ 114.50
Total					S/ 1,857.14	S/ 1,086.67

Los conflictos registrados presentaron alta y baja variabilidad con respecto a los requerimientos técnicos reales, por lo que la solución aplicada fue refabricar el elemento de alta variabilidad con las nuevas características y condiciones, y en este caso cortar la zona a modificar y continuar con el procedimiento constructivo. Estos conflictos repercutieron en tiempo, aproximadamente 1 a 2 días de trabajo en obra por carguío y a además de costos de mitigación.

En conclusión, en el caso de investigación N° 3, con una incidencia de conflictos por incompatibilidad técnica de 2%, un costo adicional de 1086.67 soles de un presupuesto de 18,332.22 soles y las características de mitigación mencionadas; se puede concluir que, en el caso de estudio, las incompatibilidades técnicas representaron un costo relativo significativo al presupuesto total. Por lo que, solucionar este conflicto representaría un ahorro del 6%

3.7 Cuantificación de pérdidas por gestión de cambios por modificaciones

En esta sección, se centrará en analizar la mejora en una de las principales causas de pérdidas en la cadena de producción de elementos prefabricados por medio del análisis de la cuantificación de pérdidas en la cadena actual y la cadena propuesta BIM – ERP”

Para el presente análisis, se ha utilizado el registro de prelosas devueltas u observadas por los siguientes motivos:

- Modificaciones solicitadas por cliente

La gestión de cambios por modificaciones solicitadas es un conflicto normalmente presente en todos los proyectos de cualquier tipo. Por lo que es necesario evaluar y cuantificar las pérdidas generadas.

Caso de estudio N° 1

La producción de elementos prefabricados en el caso de estudio N°1 fue en base a los planos contractuales entregados por la empresa contratista, posterior a la emisión de la orden de compra. En base a estos planos, se generó el diseño de las prelosas dando un total de 176 prelosas distribuidas en todos los niveles de la edificación.

A continuación se presenta los reportes generados en base a los registros de producción que posee planta respecto a la entrega de prelosas en el caso de estudio N°1

Figura 48 - Grafica circular de cantidades de conflictos de gestión de cambios en caso de estudio N° 1

Figura 49 - Incidencia de conflictos de gestión de cambios en caso de estudio N° 1

Según el registro recopilado, se puede validar que las observaciones por gestión de cambios por modificaciones representan una incidencia muy baja en comparación a la totalidad de prelosas suministradas. Sin embargo, haciendo un análisis cuantitativo en función del costo, se tiene una estimación más precisa y objetiva de la influencia de los conflictos.

Tabla 7 - Tabla de cuantificación de costos de gestión de cambios en caso de estudio N° 1

Empresa		Proveedor caso de estudio 1				
Proyecto		Caso de estudio 1				
Ítem	Código	Tipo de prelosa	Observación	Clasificación de obs.	Costo Contractual	Costo mitigación
3	TC - 215	Aligerada	Modificación de tamaño	Modificación	S/ 495.88	S/ 145.50
4	TC - 606	Aligerada	Modificación solicitud de cliente	Modificación	S/ 447.89	S/ 148.60
5	TC - 610	Aligerada	Modificación solicitud de cliente	Modificación	S/ 447.89	S/ 148.60
Total					S/ 1,391.65	S/ 442.70

Los conflictos registrados presentaron media variabilidad con respecto a los requerimientos técnicos reales, por lo que la solución fue encofrar la zona vacía, aplicar un aditivo adherente y continuar con el procedimiento constructivo. Estos conflictos repercutieron en costos de mitigación.

En conclusión, en el caso de investigación N° 1, con una incidencia de conflictos por incompatibilidad técnica de 2%, un costo adicional de 442.70 soles de un presupuesto de 22,219.09 soles y las características de mitigación mencionadas; se puede concluir que, en el caso de estudio, las incompatibilidades técnicas no representaron un costo significativo al presupuesto total. Por lo que, solucionar este conflicto representaría un ahorro del 2%

Caso de estudio N° 2

La producción de elementos prefabricados en el caso de estudio N°2 fue en base a los planos contractuales entregados por la empresa contratista, posterior a la emisión de la orden de compra. En base a estos planos, se generó el diseño de las prelosas dando un total de 72 prelosas de grandes dimensiones distribuidas en todos los niveles de la edificación.

A continuación se presenta los reportes generados en base a los registros de producción que posee planta respecto a la entrega de prelosas en el caso de estudio N°2

Figura 50 - Grafica circular de cantidades de conflictos de gestión de cambios en caso de estudio N° 2

Figura 51 - Incidencia de conflictos de gestión de cambios en caso de estudio N° 2

Según el registro recopilado, se puede validar que las observaciones por incompatibilidad técnica representan una cantidad incidencia baja en comparación a la totalidad de prelosas suministradas. Sin embargo, haciendo un análisis cuantitativo en función del costo, se tiene una estimación más precisa y objetiva de la influencia de los conflictos.

Tabla 8 - Tabla de cuantificación de costos de gestión de cambios en caso de estudio N° 2

Empresa		Proveedor caso de estudio 2					
Proyecto		Caso de estudio 2					
Ítem	Código	Tipo de prelosa	Observación	Clasificación de obs.	Costo Contractual		Costo mitigación
3	EV - 207	Aligerada	Modificación solicitud de cliente	Modificación	S/	423.89	S/ 123.40
4	EV - 208	Aligerada	Modificación solicitud de cliente	Modificación	S/	383.90	S/ 358.90
5	EV - 209	Aligerada	Modificación solicitud de cliente	Modificación	S/	383.90	S/ 358.90
6	EV - 303	Aligerada	Modificación solicitud de cliente	Modificación	S/	495.88	S/ 356.40
Total					S/	1,687.58	S/ 1,197.60

Los conflictos registrados presentaron media variabilidad con respecto a los requerimientos técnicos reales, por lo que la solución fue encofrar la zona vacía, aplicar un aditivo adherente y continuar con el procedimiento constructivo. Estos conflictos repercutieron en costos de mitigación.

En conclusión, en el caso de investigación N° 2, con una incidencia de conflictos por incompatibilidad técnica de 5%, un costo adicional de 1,197.60 soles de un presupuesto de 15,179.98 soles y las características de mitigación mencionadas; se puede concluir que, en el caso de estudio, las incompatibilidades técnicas representaron un costo relativamente significativo al presupuesto total. Por lo que, solucionar este conflicto representaría un ahorro del 8%

Caso de estudio N° 3

La producción de elementos prefabricados en el caso de estudio N°3 fue en base a los planos contractuales entregados por la empresa contratista, posterior a la emisión de la orden de compra. En base a estos planos, se generó el diseño de las prelosas dando un total de 90 prelosas distribuidas en todos los niveles de la edificación.

A continuación se presenta los reportes generados en base a los registros de producción que posee planta respecto a la entrega de prelosas en el caso de estudio N°3

Figura 52 - Grafica circular de cantidades de conflictos de gestión de cambios en caso de estudio N° 3

Figura 53 - Incidencia de conflictos de gestión de cambios en caso de estudio N° 3

Según el registro recopilado, se puede validar que las observaciones por incompatibilidad técnica representan una cantidad incidencia baja en comparación a la totalidad de prelosas suministradas. Sin embargo, haciendo un análisis cuantitativo en función del costo, se tiene una estimación más precisa y objetiva de la influencia de los conflictos.

Tabla 9 - Tabla de cuantificación de costos de gestión de cambios en caso de estudio N° 3

Empresa		Proveedor caso de estudio 3						
Proyecto		Caso de estudio 3						
Ítem	Código	Tipo de prelosa	Observación	Clasificación de obs.	Costo Contractual		Costo mitigación	
4	AE - 209	Aligerada	Modificación solicitada por cliente	Modificación	S/	409.50	S/	68.40
Total					S/	409.50	S/	68.40

Los conflictos registrados presentaron media variabilidad con respecto a los requerimientos técnicos reales, por lo que la solución fue encofrar la zona vacía, aplicar un aditivo adherente y continuar con el procedimiento constructivo. Estos conflictos repercutieron en costos de mitigación.

En conclusión, en el caso de investigación N° 3, con una incidencia de conflictos por incompatibilidad técnica de 3%, un costo adicional de 68.40 soles de un presupuesto de 18,332.22 soles y las características de mitigación mencionadas; se puede concluir que, en el caso de estudio, las incompatibilidades técnicas representaron un costo relativo significativo al presupuesto total. Por lo que, solucionar este conflicto representaría un ahorro del 1%

RESULTADOS

Los resultados es el conjunto de datos obtenidos durante la aplicación del procedimiento de la metodología, los cuales reflejan el cumplimiento de análisis con dirección a los objetivos específicos, de tal manera que valide la hipótesis planteada. A continuación se presenta los resultados por caso de estudio y por objetivo específico

2.5. Resultados del caso de estudio N° 1

De manera de resumen, se recopila los resultados obtenidos de la cadena de producción del caso de estudio N° 1 en función de la calidad del proceso, Lead time y cuantificación de pérdidas económicas.

Calidad del proceso

Se identifico que la cadena de producción del caso de estudio N° 1 presentaba deficiencias respecto a coordinaciones de planificaciones y codificaciones realizadas por planta y obra de manera individual, lo que generaba que se realizara actividades que no agregan valor al producto e involucraban costos indirectos a la utilización de elementos prefabricados en la construcción, logrando que la calidad del proceso de la cadena productiva se reduzca en eficiencia.

Lead time de la cadena de producción

La cadena de producción desarrollada en el caso de estudio N°1 tenía la dirección de reducción de costos y tiempo a través de la coordinación de producción con el avance del proyecto para eliminación del procedimiento de almacenamiento, dando un lead time aproximado de 7 días, 3 horas y 47 minutos en el desarrollo de la cadena máxima de producción para un carguío completo.

Cuantificación de perdidas por incompatibilidad técnica y por gestión de cambios

La cuantificación desarrollada en el procedimiento de la investigación permitió reconocer la incidencia en cuanto a costo y tiempo de retraso generado a causa de conflictos de incompatibilidad técnica y gestión de cambios en los siguientes rangos

Resultados	
Perdida de costo por incompatibilidad técnica	64
Pérdida de tiempo por incompatibilidad técnica	1 -
Perdida de costo por gestión de cambios	44
Pérdida de tiempo por gestión de cambios	1 -

2.6. Resultados del caso de estudio N° 2

De manera de resumen, se recopila los resultados obtenidos de la cadena de producción del caso de estudio N° 2 en función de la calidad del proceso, Lead time y cuantificación de pérdidas económicas.

Calidad del proceso

Se identifico que la cadena de producción del caso de estudio N° 2 presentaba deficiencias respecto a su velocidad y eficiencia en la gestión de cambios. En el proyecto, se identificaron problemas de incompatibilidad de diseño y problemas en la gestión de cambios solicitadas por el cliente. Estos aspectos al no ser resueltos de manera previa al grupo de proceso de fabricación generaron

duplicidad de datos con diferentes valores, lo que hizo que la cadena se vea afectada en función a los retrabajos incluidos

Lead time de la cadena de producción

La cadena de producción desarrollada en el caso de estudio N°2 tenía la dirección de reducción de costos y tiempo a través de la coordinación de producción con el avance del proyecto para eliminación del procedimiento de almacenamiento, dando un lead time aproximado de 9 días, 3 horas y 47 minutos en el desarrollo de la cadena de producción para un carguío completo.

La cadena de producción desarrollada en el caso de estudio N° 2 tenía la inclusión de gran cantidad de procedimientos de la cadena estandarizada conformada, sin embargo, tenía procedimientos lento de cambios lo cual generaba un lead time agregado, dando un total de 9 días 1 h y 22 minutos en el desarrollo de la cadena de producción máxima para el carguío completo

Cuantificación de perdidas por incompatibilidad técnica y por gestión de cambios

La cuantificación desarrollada en el procedimiento de la investigación permitió reconocer la incidencia en cuanto a costo y tiempo de retraso generado a causa de conflictos de incompatibilidad técnica y gestión de cambios en los siguientes rangos

Resultados	
Perdida de costo por incompatibilidad técnica	1,4
Pérdida de tiempo por incompatibilidad técnica	1 -
Perdida de costo por gestión de cambios	1,1
Pérdida de tiempo por gestión de cambios	1 -

2.7. Resultados del caso de estudio N° 3

De manera de resumen, se recopila los resultados obtenidos de la cadena de producción del caso de estudio N° 3 en función de la calidad del proceso, Lead time y cuantificación de pérdidas económicas.

Calidad del proceso

Se identifico que la cadena de producción del caso de estudio N° 3 presentaba problemas debido al incumplimiento por parte de obra de las fechas de entrega de carguío. Esta responsabilidad recae en el encargado del proyecto, pero sin embargo la participación del proveedor era de manera de abastecimiento por lo cual generaba que la cadena de producción tuviera un exceso en margen de costos y reducción en eficiencia en el grupo de procedimientos de coordinación de entrega y carga

Lead time de la cadena de producción

La cadena de producción desarrollada en el caso de estudio N°3 se desarrolla de manera óptima durante los primeros procedimientos generando una estanqueidad del lead time en procedimientos de producción y coordinación de entrega y carga, dando un aproximado de 14 días, 2 horas y 30 minutos en el desarrollo de la cadena de producción para un carguío completo.

Cuantificación de pérdidas por incompatibilidad técnica y por gestión de cambios

La cuantificación desarrollada en el procedimiento de la investigación permitió reconocer la incidencia en cuanto a costo y tiempo de retraso generado a causa de conflictos de incompatibilidad técnica y gestión de cambios en los siguientes rangos

Resultados	
Perdida de costo por incompatibilidad técnica	1,0
Pérdida de tiempo por incompatibilidad técnica	1 -
Perdida de costo por gestión de cambios	68.
Pérdida de tiempo por gestión de cambios	1 -

2.8. Resultado en la calidad del proceso de la cadena de producción

Realizando un análisis de comparación en la cadena de producción de la metodología BIM – ERP con la cadena de producción actual conformada por los casos de estudio. Se puede observar:

El incremento de procedimientos no garantiza el éxito de la cadena de producción, la utilización de herramientas dinámicas e integradas en los puntos de coordinación facilitan y hacen mas eficiente las actividades permitiendo que las gestiones desarrolladas por cada entidad se integren de tal manera que la planta puede tener una participación mas activa para generar beneficios económicos y de tiempos a todos los involucrados.

No es posible medir la calidad del proceso en parámetros numéricos, pero se puede validar su aproximación de mejora en la eliminación de comunicaciones ineficiente existentes en a la cadena actual y a la cualidad de tener una base de datos integrada para cada integrante de la cadena

2.9. Resultado en el lead time de la cadena de producción

La cadena de producción real se estimo en base a los casos de estudio analizados, se considero el caso mas favorable como punto de comparación con la metodología BIM – ERP. El tiempo mas favorable presentado en los casos de estudio es de 7 días, 3 horas y 47 minutos.

Para la conformación del tiempo del lead time de la metodología BIM – ERP, se analizo por juicio de expertos la estimación de la duración de los procedimientos utilizando los softwares BIM y ERP como se detalla en la metodología.

Experto 1: 5 días, 2 horas 23 minutos – 122.38 h

Experto 2: 6 días 0 horas y 47 minutos – 144.78

Expertos 3: 5 días 2 horas y 6 minutos -122.1

Método de estimación basada en 3 valores

5 días 6 horas 4 minutos

2.10. Resultado de cuantificación de perdidas por incompatibilidad técnica y por gestión de cambios

Como resultado del análisis de los proyectos se presenta el siguiente cuadro en función de porcentaje como dato estimación de costos en función del presupuesto total de los elementos prefabricados:

Resultados	
Incidencia de conflictos de incompatibilidad técnica	3
Porcentaje de pérdida económica por incompatibilidad técnica	7
Incidencia de conflictos de incompatibilidad técnica	4
Porcentaje de pérdida económica por incompatibilidad técnica	4

Analizando los resultados obtenidos en cada caso de estudio en la sección de cuantificaciones de perdidas por incompatibilidad técnica y por gestión de cambios, se puede validar que la incidencia en costos es muy ínfima si se compara al incremento del presupuesto total. Sin embargo, si se analiza por portafolio o programas de proyectos, el costo se incrementa reflejando una cantidad económica considerable.

CONCLUSIONES

- Las cadenas de producción analizadas reflejan una situación de deficiencia en aspectos de gestión de comunicación y planificación en la cadena de producción de elementos prefabricados de concreto armado debido a la independencia de gestiones de los involucrados.
- La cadena de producción actual refleja los procedimientos necesarios para planificar, programar, producir, controlar, coordinar, de entrega y de instalación. Sin embargo, dentro de cada procedimiento existen actividades necesarias que tienen un comportamiento repetitivo por la deficiencia de la forma de comunicación.
- Los sistemas informáticos utilizados como el Bim y el software ERP resuelven puntos de coordinación clave que se actualizan en tiempo real y constante para un seguimiento colaborativo entre el contratista y el proveedor mitigando incompatibilidades, agilizando los procesos administrativos y uniendo las gestiones de manera integral
- La cadena de producción BIM – ERP abarca procedimientos dinámicos e integrales que eliminan las coordinaciones poco eficientes como los correos, los mensajes, contactos telefónicos que no permiten una coordinación clara y efectiva en el momento oportuno
- La metodología BIM – ERP reduce los tiempos de coordinación aplicados en el lead time logístico, así mismo mejora los procesos de gestión y control a lo largo de la cadena reduciendo de manera significativa la duración de la cadena de producción
- La presencia de incompatibilidades técnicas y de gestión cambios en los casos y estudio refleja una mínima incidencia en el incremento del presupuesto total de prefabricas. Sin embargo, esta estimación refleja la existencia de un cierto porcentaje de ahorro por su solución que se puede maximizar en el análisis de proyectos en conjunto o en el desarrollo de la construcción prefabricada

RECOMENDACIONES

- El mercado requiere nuevas herramientas informativas que faciliten e integran la participación de los involucrados en los proyectos de construcción debido a que el éxito del proyecto recae en la interacción de los mismos de manera activa e integral.

- El sector construcción en el Perú requiere un cambio de ideología enfocado a la optimización de la productividad por medio de la actualización constante .
- Las empresas deben recurrir a mayor capacitación de herramientas que se mantienen a la vanguardia del sector para posicionar a la empresa con mayor competitividad frente a la competencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, A. L., & Kassem, M. (2018). A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application. *Automation in Construction*, 96, 103–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.017>
- Arashpour, M., Abbasi, B., Arashpour, M., Reza Hosseini, M., & Yang, R. (2017). Integrated management of on-site, coordination and off-site uncertainty: Theorizing risk analysis within a hybrid project setting. *International Journal of Project Management*, 35(4), 647–655. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.016>
- CAPECO. (2018). *Informe Económico de la Construcción*. Retrieved from http://www.excon.pe/iec/IEC22_0119.pdf
- Chen, K., Xu, G., Xue, F., Zhong, R. Y., Liu, D., & Lu, W. (2018). A Physical Internet-enabled Building Information Modelling System for prefabricated construction. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(4–5), 349–361. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1379095>
- Cuarteto, J. A. (2018, February 25). Las siete dimensiones del BIM, la metodología que cambiará la construcción en América Latina | Opinión | Gestion. *Diario Gestion*, p. 1. Retrieved from <https://gestion.pe/opinion/siete-dimensiones-del-bim-metodologia-cambiara-construccion-america-latina-228053>
- Das, D. K., & Emuze, F. (2017). A dynamic model of contractor-induced delays in India. *Journal of Construction in Developing Countries*. <https://doi.org/10.21315/jcdc2017.22.1.2>
- Demirkesen, S., & Ozorhon, B. (2017). Measuring Project Management Performance: Case of Construction Industry. *EMJ - Engineering Management Journal*, 29(4), 258–277. <https://doi.org/10.1080/10429247.2017.1380579>
- Dey, S. (2017). *Identification and Mitigation of Factors Affecting Human Resource Productivity in*. 8(1), 123–131.
- Didehvar, N., Teymourifard, M., Mojtahedi, M., & Sepasgozar, S. (2018). An Investigation on Virtual Information Modeling Acceptance Based on Project Management Knowledge Areas. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings8060080>

- Donato, V., Lo Turco, M., & Bocconcino, M. M. (2018). BIM-QA/QC in the architectural design process. *Architectural Engineering and Design Management*.
<https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1370995>
- Goh, M., & Goh, Y. M. (2019). Lean production theory-based simulation of modular construction processes. *Automation in Construction*, 101(November 2018), 227–244.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>
- Hadidi, L., Assaf, S., & Alkhiami, A. (2017). A systematic approach for ERP implementation in the construction industry. *Journal of Civil Engineering and Management*.
<https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1215348>
- Ji, Y., Qi, L., Liu, Y., Liu, X., Li, H., & Li, Y. (2018). Assessing and Prioritising Delay Factors of Prefabricated Concrete Building Projects in China. *Applied Sciences*, 8(11), 2324.
<https://doi.org/10.3390/app8112324>
- Jiang, L., Li, Z., Li, L., & Gao, Y. (2018). Constraints on the promotion of prefabricated construction in China. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), 1–17.
<https://doi.org/10.3390/su10072516>
- Karimi, H., Taylor, T. R. B., & Goodrum, P. M. (2017). Analysis of the impact of craft labour availability on North American construction project productivity and schedule performance. *Construction Management and Economics*, 35(6), 368–380.
<https://doi.org/10.1080/01446193.2017.1294257>
- Khan, K. I. A., Flanagan, R., & Lu, S. L. (2016). Managing information complexity using system dynamics on construction projects. *Construction Management and Economics*, 34(3), 192–204. <https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1190026>
- Laghari, A. N., Bhangwar, S. N., Memon, A. H., Imad, H. U., & Akhund, M. A. (2018). Adoptability of Lean Construction Techniques in Pakistan's Construction Industry. *Civil Engineering Journal*. <https://doi.org/10.28991/cej-03091162>
- Lee, C., Lee, C., & Lee, E.-B. (2018). A METHOD FOR ANALYZING THE EFFECT OF IMPLEMENTING AN ENTERPRISE SYSTEM BASED ON THE COMPLEXITY OF ACTIVITIES. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*.
<https://doi.org/10.3846/jcem.2018.6130>

- Lee, S., & Kim, D. (2016). The effects of industry classification on a successful ERP implementation model. *Journal of Information Processing Systems*, 12(1), 169–181. <https://doi.org/10.3745/JIPS.03.0047>
- Li, J., Liu, H., Zuo, J., Xia, R., & Zillante, G. (2018). Are construction enterprises ready for industrialized residential building policy? A case study in Shenzhen. *Sustainable Cities and Society*, 41, 899–906. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.033>
- Li, X., Shen, G. Q., Wu, P., & Yue, T. (2019). Integrating Building Information Modeling and Prefabrication Housing Production. *Automation in Construction*, 100(January 2018), 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.024>
- Mehrbod, S., Staub-French, S., Mahyar, N., & Tory, M. (2019). BEYOND THE CLASH: INVESTIGATING BIM-BASED BUILDING DESIGN COORDINATION ISSUE REPRESENTATION AND RESOLUTION. *JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION*, 24, 33–57. Retrieved from <http://www.itcon.org/2019/3>
- Ozorhon, B., & Cinar, E. (2015). Critical success factors of enterprise resource planning implementation in construction: Case of Turkey. *Journal of Management in Engineering*, 31(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000370](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000370)
- Palomino, J., Hennings, J., & Echevarría, V. R. (2017). Análisis Macroeconómico Del Sector Construcción En El Perú. *Quipukamayoc*, 25 (47)(47), 95–101. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/quipu.v25i47.13807> QUIPUKAMAYOC 25(47): 95 - 101 (2017) <http://dx.doi.org/10.15381/quipu.v25i47.13807> ISSN: 1609-8196 (versión electrónica) / 1560-9103 (versión impresa) Facultad de Ciencias Contables - UNMSM
- Ustinovichius, L., Popov, V., Cepurnaite, J., Vilutienė, T., Samofalov, M., & Miedziałowski, C. (2018). BIM-based process management model for building design and refurbishment. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.02.004>
- Wagner, C., Krainer, M., & Romano, C. A. (2017). Análise do nível de gerenciamento , do desempenho e dos resultados obtidos com a implantação do sistema ERP em empresas de construção civil. *Revista ESPACIOS*, (January), 13. <https://doi.org/ISSN 07981015>

- Wong, J. K. W., Ge, J., & He, S. X. (2018). Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions. *Automation in Construction*, 92(March), 312–326. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.006>
- Zhong, R. Y., Peng, Y., Xue, F., Fang, J., Zou, W., Luo, H., ... Huang, G. Q. (2017). Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things. *Automation in Construction*, 76, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.006>