



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

OPORTUNIDADES Y DESAFIOS EN EL USO DE BIM PARA APOYAR EL SEGUIMIENTO Y PAGO DE SUBCONTRATOS DE OBRAS

CARLOS OSORIO LIRD

Tesis para optar al grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesores Supervisores:

CLAUDIO MOURGUES ÁLVAREZ

LUIS FERNANDO ALARCÓN CARDENAS

Santiago de Chile, (Agosto, 2017)

© 2017, Carlos Osorio Lird



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS EN EL USO DE BIM PARA APOYAR EL SEGUIMIENTO Y PAGO DE SUBCONTRATOS DE OBRAS

CARLOS OSORIO LIRD

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

CLAUDIO MOURGUES A.

LUIS F. ALARCÓN C.

PAZ ARROYO R.

MAURICIO TOLEDO V.

LUIS A. CIFUENTES L. (PRESIDENTE DE LA COMISIÓN)

Para completar las exigencias del grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (Agosto, 2017)

(A ElbaLidia que fue la que me impulsó a tomar este desafío y que me apoyó en los momentos más difíciles, a mi familia por el apoyo en todo momento, en especial a Alelí y a Pancho por dejarme ser parte de su hogar en todo este periodo)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a los Profesores Claudio Mourgues y Luis Fernando Alarcón por permitirme desarrollar este tema de investigación y por el apoyo en todo el proceso.

A las empresas colaboradoras en especial a Marisol Saavedra, Marcela Marambio y Barbara Maccari de Axis, Ignacio Cerpa y Alejandro Escandar de LyD y Mario Espinoza de Ignacio Hurtado ya que siempre estuvieron dispuestas a ayudarme y permitieron que participe activamente en los proyectos.

Deseo agradecer especialmente a mis compañeros por ayudar a plantear y corregir el trabajo en especial a Rodrigo Herrera, Luis Salazar, Herbert Rubio, Leonardo Brescia y Carlos Gianonni del ICC y a José Villamayor por la ayuda en el desarrollo del método BIM.

A las becas Carlos Antonio López por aceptarme como representante de su ambicioso programa y por haber cumplido al pie de la letra con todo el apoyo y predisposición de sus representantes.

Finalmente agradezco el apoyo de todo el Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, a mis demás compañeros de posgrado y al personal administrativos que siempre estuvo disponible para prestar ayuda.

INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Definición del Problema.....	14
1.2 Hipótesis.....	15
1.3 Objetivo general	15
1.4 Objetivos específicos.....	15
1.5 Alcance.....	15
1.6 Metodología	16
1.7 Estructura de la Tesis	17
2. Entendiendo el seguimiento y pago de subcontratos en proyectos de edificación	18
2.1 Introducción	18
2.2 Antecedentes de la subcontratación en la construcción	20
2.3 Revisión de Literatura	22
2.3.1 Subcontratación de paquetes de trabajo	24
2.3.2 Gestión del flujo de información.....	27
2.4 Metodología	28
2.5 Resultados	30
2.5.1 Datos Generales de subcontratación en la industria.....	30
2.5.2 Generación de subcontratos	31

2.5.3 Seguimiento de avances de obra	33
2.5.4 Elaboración de estados de pagos	36
2.5.5 Aprobación de estados de pago	38
2.5.6 Medición del desempeño y flujo de la información	39
2.5.7 Análisis de prácticas y alternativas de mejoramiento	43
2.6 Conclusiones	46
3. Evaluación de método BIM para apoyar el seguimiento y pago de subcontratos de obras: beneficios y desafíos	49
3.1 Introducción	50
3.2 Gestión de pagos de subcontratos	51
3.3 Uso de BIM para la Gestión de Información en Terreno	52
3.4 Objetivos	55
3.5 Metodología	55
3.6 Resultados	56
3.6.1 Conceptualización de flujos de Estados de Pago a subcontratistas.....	56
3.6.2 Propuesta de método BIM.....	59
3.6.3 Validación de eficacia del método propuesto	63
3.6.4 Evaluación del impacto	64
3.6.5 Contratación	65
3.6.6 Seguimiento de avance en terreno.....	67
3.6.7 Elaboración y Aprobación de Estados de pago	69
3.6.8 Evaluación cualitativa del método BIM propuesto	73
3.7 Conclusiones	74
4. CONCLUSIONES	78
5. BIBLIOGRAFIA	80
6. A N E X O S	90
Anexo A: Encuesta enviada a la industria de la construcción.....	91

Anexo B: Resultados SOCIODEMOGRÁFICOS	101
Anexo C: Análisis de correlaciones	102
Anexo C: Correlaciones comparativas	122
Anexo E: Pruebas de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	129
Anexo F: Entrevista para evaluar impactos cualitativos en caso de estudio	138

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Resumen de ventajas y desventajas en la subcontratación	22
Tabla 2.2 Porcentaje de estados de pago reprobados.....	41
Tabla 2.3 Efectos de buenas y malas prácticas en la ejecución de estados de pago	44
Tabla 3.1. Parámetros relevantes para la gestión de estados de pago	59
Tabla 3.2. Propiedades No Geométricas usadas en el prototipo computacional.	62
Tabla 3.3. Propiedades no Geométricas e IFC	63
Tabla 3.4. Errores en la cubicación previa a la creación de contratos de estructuras metálicas.....	66
Tabla 3.5. Resumen de estado de pagos y diferencias entre método Tradicional y método BIM	71

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Metodología de la investigación	16
Figura 2.1. Porcentaje de subcontratación según el rubro	31
Figura 2.2 Criterios para definición de paquetes de subcontratación	32
Figura 2.3. Herramientas de apoyo para el seguimiento de avances de obra.....	34
Figura 2.4 Complejidad en el proceso de seguimiento de avances.....	35
Figura 2.5. Inconvenientes en el seguimiento de avances de obra.....	36
Figura 2.6. Inconvenientes en el proceso de elaboración de estados de pago	37
Figura 2.7. Inconvenientes en la aprobación de estados de pago.....	39
Figura 2.8. Flujo general de estados de pago.....	40
Figura 2.9 Cuellos de botella del proceso de estados de pago	42
Figura 2.10. Porcentaje de uso de la jornada laboral	43
Figura 2.11 Alternativas de mejoramiento de los procesos de estados de pago	45
Figura 3.1. Metodología de la investigación.....	55
Figura 3.2. Proceso conceptual de gestión de pagos a subcontratistas.	57
Figura 3.3. Método BIM propuesto.....	60
Figura 3.4. Prototipo de Proceso de Estado de Pago a Subcontratistas con apoyo de BIM	61
Figura 3.5. Productividad de medición (en elementos medidos por minuto) para cada método.....	68
Figura 3.6. Gestión Visual aportada por Navisworks® enriquecida con una base de datos externa.....	70
Figura 3.7. Respaldo grafico de un estado de pago realizado por el método BIM.	70
Figura 3.8. Gestión visual propuesta por el método BIM con colores según estado de avance y pago.....	72
Figura 3.10. Matriz de impactos cualitativos al usar método BIM o tradicional en la gestión de estados de pago.	73

RESUMEN

La subcontratación es una estrategia clave en la ejecución de todo proyecto. Esta es particularmente importante en los proyectos de construcción, donde el alto nivel de subcontratación genera desafíos para el seguimiento y pago de subcontratos, dada la alta diversidad de disciplinas y cantidad de información que se requiere manejar. El uso de modelos BIM, que ha sido adoptado ampliamente en la industria y en otras áreas de la gestión de proyectos, representa una oportunidad para mejorar la eficacia en el pago y la eficiencia en el seguimiento de los subcontratos. Este trabajo de investigación contribuye a generar un mayor entendimiento de este proceso, identificando problemáticas y posibles estrategias de mejoramiento; a través de entrevistas, una encuesta y el estudio retrospectivo de proyectos en la industria de construcción chilena. En tal sentido, se explora como BIM puede ser una plataforma de apoyo para el pago de trabajos subcontratados a través de la gestión visual, uso de la nube y funcionalidades para el análisis y control. Se realizaron estudios de casos retrospectivos para desarrollar un método BIM y entrevistas a expertos para validarlo, resultando una propuesta de un método BIM para apoyar los estados de pago. Finalmente, se realizó un estudio de caso donde se evaluó el impacto del uso de BIM en el proceso, quedando en evidencia beneficios como evitar pagos que no corresponden y la disminución de tiempos en el proceso. Los principales desafíos están relacionados con el alcance del modelo BIM y la actualización del mismo para contener a los paquetes de trabajos subcontratados.

Palabras Claves: Subcontratos, Seguimiento, Flujo de aprobaciones, Gestión de subcontratos, BIM, Pago de subcontratos, Seguimiento, Gestión Visual.

ABSTRACT

Subcontracting is a key strategy in the execution of all projects. This is particularly important in construction projects, where the high level of subcontracting generates challenges for the monitoring and payment of subcontracts, given the high diversity of disciplines and the amount of information required for construction managing. The use of BIM models, which has been widely adopted in industry and other areas of project management, represents an opportunity to improve subcontract payment and monitoring efficiency. This research contributes to the better understanding of this process, identifying problems and possible improvement strategies; through interviews, a survey and the retrospective study of projects in the Chilean construction industry. It explores how BIM can be a support platform for subcontract payment through the visual management, use of cloud computing, and functionalities for analysis and control. Retrospective case studies were carried out to develop a BIM method and interviews with experts to validate it, resulting in a proposal of a BIM method to support payment process. Finally, a case study was carried to evaluate the impact of the use of BIM in the process, showing benefits such as avoiding payments that do not correspond and the reduction of times in the process. The main challenges are related to the scope of the BIM model and its updating to contain the packages of subcontracted jobs.

Keywords: Subcontracts, Tracking, Flow of approvals, Subcontract management, BIM, Subcontract payment, Monitoring, Control, Visual Management.

1 INTRODUCCIÓN

Los subcontratos han sido parte integrante de la industria de la construcción de una u otra forma desde la Edad Media (Goldfayl, 2004). Los subcontratistas son empresas comerciales independientes del contratista general, tienen acuerdos con el contratista y son responsables de ello proporcionando mano de obra, material, equipos y/u otro tipo de servicios (Mincks & Johnston, 2010). Lo anterior, se puede describir como el proceso contractual en que un contratista principal subcontrata parte del trabajo a otro contratista (Tam, Shen, & Kong, 2011). Es un mecanismo de trabajo ampliamente utilizado en la construcción (Hinze & Tracey, 1994a) llegando a porcentajes que superan el 80 % del trabajo total del proyecto (Al-Hammad, 1993; Hinze & Tracey, 1994a; Manu, Ankrah, Proverbs, & Suresh, 2013), inclusive hasta 90% (Eom, Yun, & Paek, 2008).

Las operaciones del contratista general no son suficientemente extensas para permitir el empleo a tiempo completo de obreros calificados en cada una de las diversas especialidades necesarias en la obra. Asimismo, no es factible que estas empresas posean, exploten y mantengan equipos especializados para un uso limitado durante un proyecto (Arditi & Chotibhongs, 2005). Esto incide en que los contratistas generales subcontratan obras tanto como sea posible para permitir la reducción del tamaño de sus empresas, garantizar el mejor manejo de las condiciones inestables del mercado y gestionar empresas más flexibles (Hsieh, 1998; Ohnuma, Pereira, & Cardoso, 2000).

Más aún, la alta de subcontratación genera desafíos para la gestión de los subcontratistas en terreno, donde posiblemente se generan más de 100 subcontratos en un proyecto de gran tamaño (Jin, Zhang, Xia, & Feng, 2013). Este alto nivel de subcontratos puede generar que más de 20 o 30 subcontratistas estén trabajando al mismo tiempo (Hinze & Tracey, 1994a). Autores como Kitchens (2006) y Rumane (2010) explican que ingresar múltiples subcontratos al proyecto complejiza la administración del mismo, debido a que se debe dar avances y pagos de sus respectivos contratos de manera oportuna y ordenada, para que el trabajo progrese eficaz y eficientemente.

En ese sentido, el incumplimiento de las tareas de un subcontrato, puede ser una de las causas para el fracaso del proyecto (Arditi & Chotibhongs, 2005). Los administradores de

proyectos de construcción continúan enfrentando grandes desafíos en la entrega de proyectos a tiempo, dentro del presupuesto y con los estándares de calidad requeridos (Ibrahim, Lukins, Kaka, & Trucco, 2007). Por otra parte, la industria de la construcción tiene sistemas de monitoreo comparativamente primitivos y lentos (Navon & Sacks, 2007), presentándose la falta de procesos estandarizados de gestión de proyectos como una debilidad de los métodos tradicionales. Asimismo, el proceso de levantamiento de datos para el seguimiento de avances de la construcción implican juicio humano, desperdician una gran cantidad de tiempo y mano de obra (Ibrahim, Lukins, et al., 2007; Wang et al., 2016). Más aún, los proyectos desde hace un largo período de tiempo normalmente son gestionados según la experiencia de los gerentes para cada tarea, incluso dentro de la misma organización (Alshawi & Ingirige, 2003).

La industria de la construcción sufre la ausencia de un control y supervisión adecuados por parte de los contratistas principales sobre el trabajo de los subcontratistas (Tam et al., 2011). Cada obra genera una enorme cantidad de datos, lo que conduce a la necesidad de ser más competitivos en cuanto al manejo de los mismos para obtener un mejor control sobre los procesos de construcción (Hogan, 2015). A menudo es difícil identificar quién hace qué y quién es responsable del trabajo, también puede haber limitaciones en la capacidad de la dirección para determinar la ubicación, organización espacial y secuencia de las tareas, así como restricciones en la capacidad de controlar las condiciones físicas de trabajo (Beardsworth, Keil, Bresnen, & Bryman, 1988). Üsdiken et al. (1988) evidenciaron en su trabajo que el aumento de la subcontratación ha reducido el control del contratista general sobre el proceso de construcción, lo que ha provocado un exceso de costos y de tiempo. Lo anterior, se traduce en un análisis lento e ineficiente del trabajo ejecutado y, a menudo, resulta en el pago de trabajo que no se ha realizado realmente (Casto, 2000).

Varios de estos desafíos apuntan a problemas relacionados con un manejo eficaz y eficiente de la información relevante en la gestión del seguimiento y pago de subcontratos. Muchos aspectos de la construcción sugieren los beneficios significativos que la industria podría obtener por medio de la utilización de tecnologías de la información (TI), principalmente por las enormes cantidades de información que deben ser gestionadas; el

énfasis en la producción; y la dispersión de los participantes (Davies & Harty, 2013). *Building Information Modeling* (BIM) ha acaparado gran atención, debido a su eficacia en la adquisición de datos y almacenamiento de información apoyando a la gerencia de construcción (K.-C. Wang et al., 2016). Se puede definir BIM como una representación digital de las características físicas y funcionales de un establecimiento (Matthews et al., 2015). Además, es un recurso de conocimiento compartido que pretende ser un repositorio de la información del edificio, en una base confiable, para tomar decisiones durante su ciclo de vida y así reducir la necesidad de volver a recolectar o formatear la información (Matthews et al., 2015; Vanlande, Nicolle, & Cruz, 2008).

BIM tiene tres características principales: 1) crea y opera sobre bases de datos para permitir la colaboración; 2) logra cambios a lo largo de estas bases de datos, para que un cambio en cualquier parte de las bases de datos afecte a todas las demás partes; 3) captura y conserva la información para su reutilización mediante la adición de aplicaciones específicas de la industria (Vanlande et al., 2008). Estas características pueden resultar en un aumento en la velocidad y exactitud de la información, reducción de costos asociados con la falta de interoperabilidad, automatización de control, análisis y apoyo en las actividades de operación y mantenimiento (Matthews et al., 2015).

La promesa de aumento de la productividad está estimulando la adopción e implementación de BIM en la industria de la construcción (Poirier, Staub-French, & Forgues, 2015). Sin embargo, el uso de BIM desarrollado para el proceso de diseño disminuye una vez que comienza la construcción. Esto se debe principalmente, a que los contratistas y sus subcontratistas son reacios a cambiar sus flujos de trabajo y en acomodar las actualizaciones necesarias para producir un BIM acorde a las necesidades del trabajo en terreno (Matthews et al., 2015).

1.1 Definición del Problema

Se hace evidente que el alto porcentaje de subcontratos en el proyecto genera desafíos para la gestión de los mismos. La literatura discute características y desempeños de la subcontratación en varios ámbitos de la construcción; sin embargo, no se ha estudiado en detalle el seguimiento o pago de partidas subcontratadas, proceso que puede generar un

alto uso de recursos y repercutir en pagos inadecuados. Por lo tanto, existe un desconocimiento de los flujos de información y el desempeño de la gestión de estados de pago a subcontratistas en obras. Por otra parte, BIM se presenta como una oportunidad para apoyar el seguimiento y pago de subcontratos, pero aún no han sido evaluados los impactos de su aplicación en la gestión de estados de pagos de subcontratistas.

1.2 Hipótesis

La aplicación de metodologías BIM para apoyar procesos de seguimiento y pago de subcontratos de obras aumenta la eficiencia (disminuye tiempos de procesos) y la eficacia (evita pagos que no corresponden) en estos procesos.

1.3 Objetivo general

Mejorar la eficacia y eficiencia del seguimiento y pago de subcontratos de obra a través de una metodología basada en BIM.

1.4 Objetivos específicos

- i) Entender los flujos de información y sus características asociadas a los procesos de estados de pago de subcontratos.
- ii) Proponer y evaluar una metodología BIM para apoyar la gestión de pagos de subcontratistas.

1.5 Alcance

Esta investigación se enmarca dentro de los procesos de gestión de estados de pago a subcontratistas de obras de edificación. Estos procesos incluyen la contratación de subcontratistas (definición de paquetes de trabajo y ubicación de los mismos), seguimiento de avances, elaboración de estados de pagos y la aprobación de los mismos. El estudio se enfocó en empresas medianas y grandes en la industria de construcción chilena.

1.6 Metodología

La metodología utilizada consta de 2 etapas, se expone a continuación en la Figura 1.1. Una extensa revisión bibliográfica acompañó el desarrollo de la investigación de principio a fin.

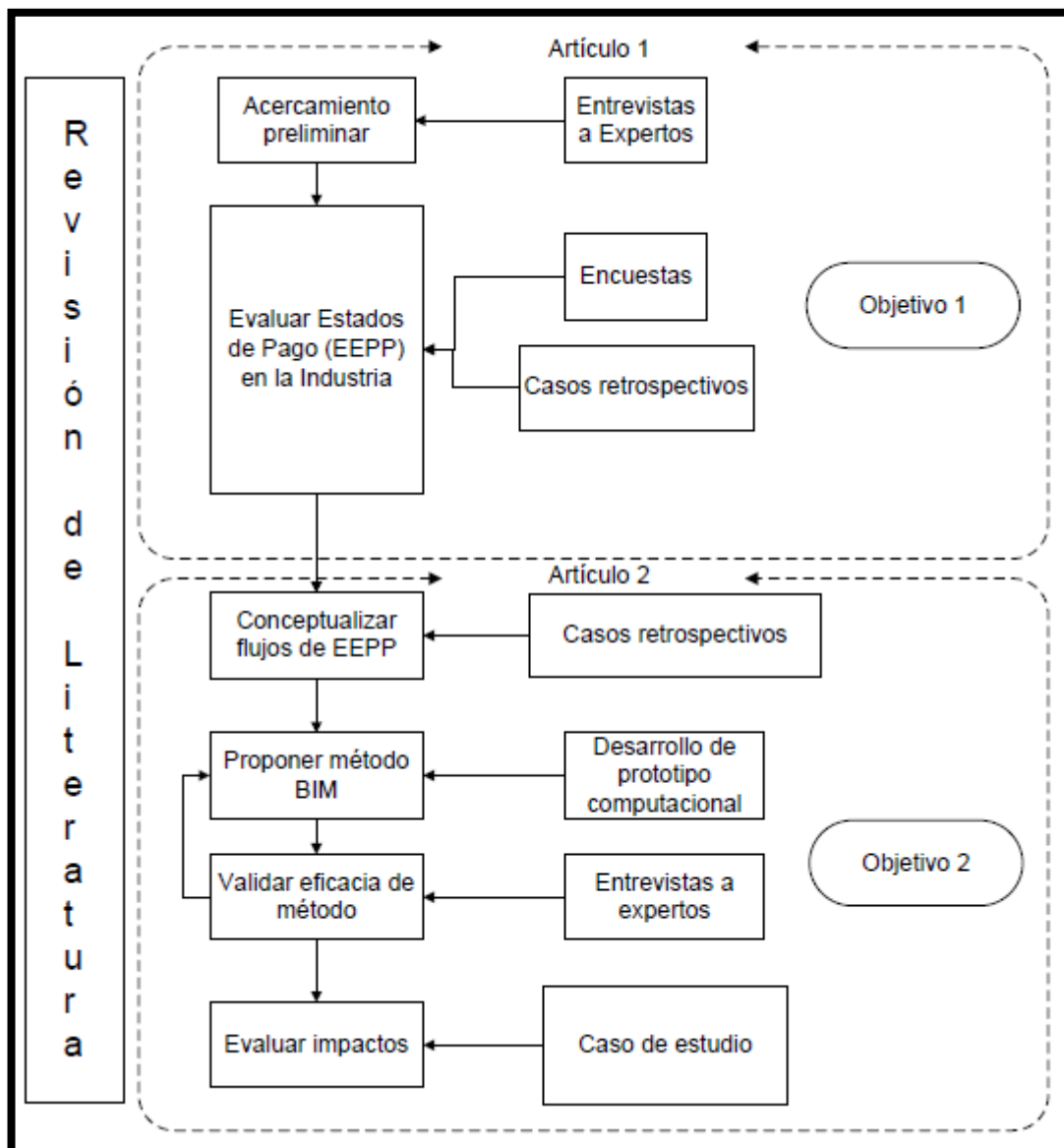


Figura 1.1. Metodología de la investigación

La primera etapa representa la formalización del problema de investigación a través de la revisión de literatura y evaluación del desempeño del proceso en la industria a través de

entrevistas y encuestas. En la segunda etapa, se desarrolla un método BIM y se evalúan los impactos de su uso en un caso de estudio. En los capítulos 2 y 3 se exponen en detalle los métodos o herramientas utilizados en cada etapa.

1.7 Estructura de la Tesis

La estructura de esta tesis se conforma en base a 2 artículos científicos que responden a los objetivos específicos planteados. Para enmarcar el trabajo en forma global, el documento inicia con una introducción y una propuesta de investigación en donde se explica el problema, los objetivos, alcance y la metodología utilizada.

El capítulo 2 representa el primer artículo, en él se responde al primer objetivo a manera de entender y evaluar los procesos de estados de pago en la industria y también determinar los flujos de información asociados para el proceder de los mismos. Finalmente se determinan oportunidades de mejoramiento que sirven de nexo para el proceder de la investigación.

En el capítulo 3 se expone el segundo artículo que responde al segundo objetivo. Se conceptualiza el proceso de estados de pago a manera de entender las estructuras de información con el fin de encontrar las relaciones para el uso de modelos BIM en los procesos de estados de pago. Se crea un prototipo que es probado en un caso de estudio, en donde se evalúan los impactos del uso de BIM como apoyo del seguimiento y pago a subcontratistas de obras.

Las conclusiones de esta investigación corresponden al capítulo 4, en donde se contienen los aportes de los dos artículos presentados y se proponen futuras investigaciones.

2. ENTENDIENDO EL SEGUIMIENTO Y PAGO DE SUBCONTRATOS EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

Una estrategia importante en la ejecución de todo proyecto es la subcontratación. Esto es particularmente importante en los proyectos de construcción, donde el alto nivel de subcontratación genera desafíos para el seguimiento y pago de subcontratos dada la alta diversidad de disciplinas y cantidad de información que se requiere manejar. Este trabajo contribuye a un mayor entendimiento de este proceso, identificando problemáticas y posibles estrategias de mejoramiento, a través de entrevistas, una encuesta y el estudio retrospectivo de proyectos en la industria de construcción chilena. Los estados de pago representan una herramienta de negociación entre contratistas y subcontratistas, generando la necesidad de gestionar los avances de obra en paquetes de trabajos eficaces y de fácil entendimiento para el seguimiento y pago de los mismos.

Palabras Claves: Subcontratos, Seguimiento, flujo de aprobaciones, Gestión de subcontratos.

2.1 Introducción

El sistema de subcontratación suele describirse como el proceso contractual en el que un contratista principal subcontrata parte del trabajo a otro contratista (Tam et al., 2011). La práctica de la subcontratación ha sido adoptada ampliamente en varios sectores industriales, en la fabricación y sectores de servicios, en el sector público como el sector privado, en todas las regiones geográficas, y a través de empresas de mediano y gran tamaño (Bresnen & Fowler, 1994). Sin embargo, su adopción no es uniforme en la industria, en algunos sectores la práctica ha sido más común, como en la construcción (Bresnen et al., 1985), y otras industrias tradicionales como los puertos, minería, agricultura y automotriz (Bresnen & Fowler, 1994).

Los subcontratos han sido parte integrante de la industria de la construcción en una u otra forma desde la Edad Media (Goldfayl, 2004) y han ido creciendo hasta llegar a porcentajes que superan el 80% del trabajo total del proyecto (Al-Hammad, 1993; Hinze & Tracey, 1994a; Manu et al., 2013), alcanzando el 90% inclusive (Eom et al., 2008). El panorama general que emerge en la construcción es de una tendencia más o menos universal hacia la mayor utilización de subcontratistas (Ohnuma et al., 2000).

Esta tendencia se explica por la mayor eficiencia del sistema de subcontratación en la utilización de los recursos disponibles. Las operaciones del contratista general no son suficientemente extensas para permitir el empleo a tiempo completo de obreros calificados en cada una de las diversas clasificaciones comerciales necesarias en el campo; la entrega de un proyecto implica diferentes habilidades en diferentes etapas de la construcción y estas habilidades suelen ser administradas por diferentes organizaciones (Tam et al., 2011). Asimismo, no es factible que estas empresas posean, exploten y mantengan equipos especializados para un uso limitado durante un proyecto (Arditi & Chotibhongs, 2005). Contratistas generales subcontratan obras tanto como sea posible para permitir la reducción del tamaño de sus empresas, garantizar el mejor manejo de las condiciones inestables del mercado y gestionar empresas más flexibles (Hsieh, 1998; Ohnuma et al., 2000).

Sin embargo, la alta tasa de subcontratación genera desafíos para la gestión de los subcontratistas en terreno, ya que dependiendo del tamaño del proyecto se podrían generar más de 100 subcontratos (Jin et al., 2013). Este alto nivel de subcontratos puede generar que más de 20 o 30 subcontratistas estén trabajando al mismo tiempo (Hinze & Tracey, 1994a). Esto lleva a que la administración del proyecto debe estar dando avances y pagos de sus respectivos contratos de manera oportuna y ordenada para que el trabajo progrese eficaz y eficientemente (Rumane, 2010). Ingresar múltiples subcontratos al proyecto complejiza la administración del mismo (Kitchens, 2006). Además, mantener una información de avance muy detallada y precisa requiere fuertes esfuerzos administrativos (Jung & Kang, 2007), incluyendo entre otros, la complejidad del seguimiento de los trabajos, la capacidad o cantidad de recursos asignados para la gestión y el seguimiento de los paquetes de subcontratos de la obra.

Como la mayoría de las actividades de construcción son realizadas por subcontratistas, es claro que la ejecución fluida de los subcontratos de la manera más efectiva y productiva es la clave para el éxito del proceso de producción (Uher, 1991). Por lo mismo, el incumplimiento de las tareas de un subcontrato, puede ser una de las causas para el fracaso del proyecto (Arditi & Chotibhongs, 2005). Según lo indicado por Matthews et al. (1996), *"lo lógico sería que, si contratistas principales quieren mejorar su rendimiento y productividad, deberían concentrar sus esfuerzos donde ocurre la mayoría del trabajo"*. Por lo tanto, en muchos casos la clave está en que el contratista principal debe aumentar la profundidad y la importancia estratégica de sus relaciones con los subcontratistas (Eom et al., 2008).

La literatura hace evidente que el aumento del porcentaje de subcontratos en el proyecto genera desafíos para la gestión de los mismos; sin embargo, no hace referencia a temas particulares sobre el desempeño en procesos de pago de partidas subcontratadas. Por lo tanto, es necesario estudiar en profundidad la gestión de pagos de subcontratistas en obras, cómo se generan los contratos, características generales y particulares del proceso, y flujos de información asociados, de manera a evaluar su desempeño en una búsqueda de oportunidades de mejoramiento.

2.2 Antecedentes de la subcontratación en la construcción

La relación entre el contratista general y el subcontratista puede ser mediante 3 tipos habituales de contratos: a suma alzada, precio unitario, y administración delegada. Es posible tener la combinación de dos o incluso de los tres tipos de contratos. Por ejemplo: Subcontrato 1: Montaje mecánico con contenido de diseño a honorario fijo correspondiente una suma alzada; Subcontrato 2: Montaje de tubería a precio unitario; y Subcontrato 3: Sección por administración delegada para ascensores especiales, normalmente en casos que el cliente quiere tener mayor control o participación (Lester, 2007).

Es importante diferenciar el tipo de contrato utilizado ya que de eso depende la forma en que se genera la documentación necesaria y cómo se realiza el seguimiento del subcontrato. El contrato a suma alzada es el que facilita el seguimiento y el control de costos (Eccles, 1981), debido a que el seguimiento es sobre una totalidad definida al inicio y no cantidades parciales como puede ser el caso de los contratos por precios unitarios o administración delegada. La documentación requerida para un subcontrato puede clasificarse en tres grupos principales (Lester, 2007): condiciones comerciales, especificaciones técnicas y requisitos del terreno. En base a la documentación mencionada se realizan los estados de pago a medida que avanzan los trabajos subcontratados y este artículo estudia este proceso.

El proceso de subcontratación es realizado mediante paquetes de trabajo, lo anterior permite al contratista principal descentralizar y minimizar el riesgo durante todo el proyecto, así como también aprovechar la experiencia de conocimiento del profesional de las organizaciones de subcontratación (Jin et al., 2013). Por otra parte, los paquetes de trabajo permiten a los contratistas generales ser flexibles para responder a los potenciales altibajos del mercado (Kale & Arditi, 2001). Durante el curso de un proyecto de construcción comercial de gran escala, se introducen un gran número de relaciones contractuales que se representan a través de los paquetes de trabajo, por lo que una gestión eficaz de estas relaciones es necesaria (Jin et al., 2013).

Los paquetes de trabajo son las entradas de último nivel en la estructura de desglose de trabajo (WBS), estos representan el nivel en el que la responsabilidad del desempeño de la obra se asigna a un individuo o a una organización (Haugan, 2002). En este nivel se considera que todo el proyecto se ha descompuesto suficientemente para permitir un control eficaz y eficiente del proyecto (Ibrahim, Kaka, Trucco, Kagioglou, & Ghassan, 2007). Es aconsejable agrupar una serie de aspectos del trabajo para dar un paquete fácilmente identificable y responsable (Sidwell, 1983).

2.3 Revisión de Literatura

Según la revisión de literatura, diversos actores han investigado sobre características de la subcontratación, pudiendo ser analizadas desde el punto de vista de ventajas y desventajas de este mecanismo. Las principales ventajas y desventajas se observan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resumen de ventajas y desventajas en la subcontratación

Ventajas	Kitchens, 2006	Beardsworth et al., 1988	Ohnuma et al., 2000	Brandli et al., 1998	Bresnen & Fowler, 1994	Üsdiken et al., 1988	Costantino et al., 2001	Eccles, 1981	Sozen & Kucuk, 1999
Permite concentrar los esfuerzos en otras actividades .	✓		✓						
Se reducen los gastos generales y la inversión.	✓				✓		✓	✓	✓
El precio de un subcontratista tiene un riesgo menor que el uso de mano de obra interna.	✓				✓				
La capacitación es responsabilidad del subcontratista.	✓							✓	
Los riesgos se reparten entre múltiples partes y se reduce la responsabilidad.	✓		✓		✓		✓		
Los subcontratistas son capaces de ofrecer los servicios a menor costo.					✓			✓	
Adquisición de conocimientos especializados.			✓		✓		✓		
Eliminación del tiempo ocioso y mantenimiento de equipos.			✓				✓	✓	
Capacidad de responder a los cambios de las condiciones económicas.			✓		✓		✓	✓	✓
Desventajas									
Costos comerciales elevados			✓	✓					
Capacitación deficiente en cuestiones de seguridad			✓	✓					
Poca motivación en los trabajadores			✓	✓					
Poca innovación tecnológica			✓						
Alto desperdicio de materiales			✓						
Mayor complejidad en la administración del proyecto	✓								
Dificultad para controlar el proceso productivo		✓			✓	✓			

En resumen, el contratista mejora su capacidad de responder a los cambios de las condiciones económicas y fluctuaciones de la demanda, mejorando la flexibilidad de la empresa (Bresnen & Fowler, 1994; Costantino, Pietroforte, & Hamill, 2001; Eccles, 1981; Ohnuma et al., 2000; Sozen & Kucuk, 1999). Sin embargo, la introducción de múltiples entidades complica la administración de un proyecto (Kitchens, 2006), ya que, debido a la cantidad de organizaciones independientes que deben coordinarse se genera una dificultad para controlar el proceso productivo (Beardsworth, Keil, Bresnen, & Bryman, 1988; Bresnen & Fowler, 1994; Üsdiken, Sözen, & Enbiyao, 1988).

La industria de la construcción sufre la ausencia de un control y supervisión adecuados por parte de los contratistas principales sobre el trabajo de los subcontratistas (Tam et al., 2011). Esto se ha documentado en la literatura con estudios respecto a la calidad. A menudo es difícil identificar quién hace qué y quién es responsable de la calidad del trabajo, también puede haber severas limitaciones en la capacidad de la dirección para dictar la ubicación, organización espacial y secuencia de las tareas, así como limitaciones en la capacidad de controlar las condiciones físicas de trabajo (Beardsworth et al., 1988). Üsdiken et al. (1988) evidenció en su trabajo que el aumento de la subcontratación ha reducido el control del contratista general sobre el proceso de construcción, lo que ha provocado un exceso de costos y de tiempo.

La coordinación, planificación y el control también son un problema, los subcontratistas que trabajan en ámbitos más especializados tienden a tener mejor control de procesos, mientras que los responsables de la ejecución de las actividades más artesanales parecen confiar a los contratantes el deber de suministrar las estrategias de coordinación. Esto es una crítica hecha con frecuencia a la subcontratación que hace que la planificación del proceso sea muy difícil de cumplir (Ohnuma et al., 2000). El control ejecutado por el contratante se limita a la fijación de la fecha de inicio de la actividad, con el subcontratista estiman la fecha de fin, que rara vez se cumple (Bresnen & Fowler, 1994). Además, hay una pérdida de control del cronograma que es directamente proporcional al porcentaje del proyecto que se subcontrata (Kitchens, 2006).

La revisión de literatura también cita otras características condicionadas por el desempeño del subcontratista, la experiencia y por sobre todo el control del contratista general sobre

el trabajo subcontratado. Estas características condicionadas podrían ser una ventaja o una desventaja dependiendo del caso, las mismas son: la calidad del trabajo (Brandli & others, 1998), la reducción de pérdidas, el aumento de la productividad (Bresnen & Fowler, 1994; Ohnuma et al., 2000) y la facilidad del control de costos (Eccles, 1981).

Las empresas a menudo se refieren a problemas de las relaciones industriales y gestión como desventajas potenciales. Como alternativa, la subcontratación tiene el efecto neto de aumento de complejidad estructural, por ejemplo, a través de la necesidad de más sistemas de vigilancia y control, mayor trabajo administrativo para el seguimiento del contrato y el pago. Cualquiera que sea la naturaleza de la relación causa-efecto, la coexistencia de subcontratación, en definitiva, trae una mayor complejidad estructural que es algo contrario a las expectativas que se derivan de la lógica implícita del modelo 'empresa flexible'. (Bresnen & Fowler, 1994). Según Kale & Ardit (2001), los paquetes de trabajo son los que dan la cualidad de empresa flexible por lo que es necesario entender sus características de creación y seguimiento dentro del modelo de la subcontratación.

2.3.1 Subcontratación de paquetes de trabajo

Wideman (1989), en un estudio sobre la ejecución y control de proyectos indica que la construcción de paquetes de trabajo eficaces es quizás la tarea más difícil y desafiante en la gestión de proyectos. En torno a la importancia de la definición de los paquetes de trabajo en el avance efectivo de los subcontratos de la obra, la revisión de literatura se enfocó en profundizar sobre estudios que hayan analizado la definición eficaz, los pagos, el retraso de los pagos y la formas de realizar el seguimiento de avance.

Jung & Kang (2007) luego de estudiar las propiedades que debe tener un paquete de trabajo, concluyeron que típicamente son dos: el desglose de los productos, por ejemplo, las cuentas presupuestarias; y el desglose físico, por ejemplo, localizadores, instalaciones, espacio o elemento. Por lo tanto, un pequeño aumento en el número de cuentas de presupuesto bajo un sistema de control integrado puede causar una enorme expansión de las cargas de trabajo. La clave para la formulación de un paquete de trabajo eficaz es la elección de los criterios de descomposición apropiados mediante los cuales el proyecto

puede subdividirse (Kaka, Ibrahim, Lukins, & Trucco, 2007). Sin embargo, sigue habiendo desafíos para la identificación de estos criterios, ya que pueden utilizarse diversas clasificaciones de información. Esto fue abordado por la Organización Internacional de Normalización que identificó ocho criterios como, por ejemplo: facilidad, espacio, elemento, sección de trabajo, producto de construcción, ayuda a la construcción, atributos y gestión (Kaka et al., 2007). En la misma línea, otros autores hacen la revisión de criterios como el tipo de construcción, ciclo de vida, la función, las tareas, la operación y los recursos (Kang & Paulson, 1997; Shing-Tao & Ya-Wen, 2003).

Con respecto al seguimiento de los paquetes de trabajo, Jung & Kang (2007) han definido que son tres factores los que afectan la precisión del mismo: 1) la "Ponderación del presupuesto" que indica la importancia relativa entre otros en términos de cantidad monetaria; 2) la "Duración" ya que depende de esto para saber cada cuanto se tiene que medir para asegurar facilidad y precisión; y 3) la "Complejidad" que denota el nivel de facilidad en la determinación de la medición exacta del avance, la simplicidad de los ítems y la proximidad de las ubicaciones físicas del trabajo son las bases para el juicio.

Una vez iniciado el trabajo, a medida que se va realizando el seguimiento es necesario ir pagando los trabajos subcontratados, Casto (2000) da un panorama de lo que ocurre normalmente en la práctica del proceso de elaboración de estados de pago en obras:

"...cada mes todos los contratistas y subcontratistas de grandes proyectos de construcción presentan solicitudes de pago a gerentes de obra y propietarios para su revisión y pago. En los grandes proyectos de construcción hay un gran número de solicitudes que el contratista general debe revisar por separado para determinar si los pagos deben hacerse. Estas solicitudes se desglosan en términos de materiales, mano de obra y áreas del proyecto terminado. A veces, son muy extensos y complejos ya que los subcontratistas pueden descomponer el edificio o proyecto en áreas definidas de manera diferente. Esto provoca el problema de que el contratista general debe analizar cada una de las muchas solicitudes sin el beneficio de ninguna correlación de trabajo entre subcontratistas. Además, esto suele ser perjudicial si se hace en un sitio de construcción con una alta tasa de ocupación. Esto se traduce en un análisis lento e ineficiente de lo que se ha completado del trabajo y, a menudo, resulta en el pago de trabajo que no se ha realizado realmente."

Más aún, los retrasos en aprobaciones de trabajos por parte del contratista fue estudiado por Al-Hammad (1993) y Üsdiken et al. (1988). Este proceso suele ser difuso y puede ser un impedimento para que el subcontratista continúe con su trabajo, creando un problema entre las dos partes en la ejecución de la obra y la administración de la misma.

Cualquier retraso en el pago del contrato crea un cuello de botella de flujo de caja a subcontratistas de mano de obra, sabiendo que el salario de sus empleados se debe liberar de forma inmediata e independiente a los trabajos realizados (Ng & Tang, 2010). No es extraño que una gran cantidad de subcontratistas de mano de obra se enfrenten a dificultades de flujo de caja (Russell & Radtke, 1991). Los subcontratistas son conocidos por su alta tasa de quiebras y mala salida de los proyectos, esto es totalmente indeseable cuando los subcontratistas son considerados como los especialistas en sus oficios (Ng & Tang, 2010). Los autores de esta investigación determinaron que el retraso en los pagos es el principal problema que afecta a los subcontratistas, debido a que esto perturba sus planes de flujo de caja causando problemas financieros y afectando la capacidad de pagar a sus trabajadores y proveedores con prontitud. En consecuencia, para reducir el efecto de este factor, se necesita una evaluación más crítica de las causas del retraso en los pagos (Üsdiken et al., 1988). Los subcontratistas no pueden pagar a sus proveedores, lo que desencadena que el contratista pague el doble o peor aún, que los subcontratistas salgan del negocio, causando retrasos y dificultades financieras al proyecto (Kitchens, 2006).

Por otro lado, el control de costos de subcontratos está supeditado a la necesidad de una supervisión de calidad y verificaciones de cantidades ejecutadas, que son costosas sobre todo para los servicios relacionados con la mano de obra (Hsieh, 1998). Sólo si se controla adecuadamente el uso del sistema y se instruye correctamente a todos los subcontratistas, un equipo de proyecto puede trabajar eficaz y eficientemente hacia objetivos comunes (Elazouni & Metwally, 2000). Lo anterior, hace referencia a los métodos y formas de llevar el avance de trabajos en obras. Jung & Kang (2007) en un estudio realizado sobre la medición del avance de obras, concluyen que el seguimiento a los proyectos son utilizados como el principal índice para medir la gestión eficaz, el método, los datos y la precisión de la medición del avance. Esta situación puede conducir a una interpretación errónea del estado del proyecto, especialmente en un entorno de gestión multiproyecto.

Al mismo tiempo, Jung & Kang (2007) exponen que lo óptimo es recopilar y analizar datos de avance detalladamente para cualquier proyecto. Sin embargo, este escenario puede requerir un exceso de esfuerzo gerencial con un uso limitado de datos, siendo muy probable que paquetes menos detallados proporcionen información más inexacta. Para abordar esta problemática, el nivel de detalle del seguimiento debe ser cuidadosamente seleccionado manteniendo un equilibrio entre la carga de trabajo y la precisión, incorporando la estrategia, los objetivos y la política de gestión de los proyectos de construcción (Jung & Kang, 2007).

2.3.2 Gestión del flujo de información

Por otro lado, el flujo de la información juega un rol fundamental en la construcción, ya sea durante el período previo o durante la ejecución del proyecto. La gestión del flujo es vital tanto para el contratista general como para todos los subcontratistas (Titus & Bröchner, 2005). En un proyecto, las contrataciones de las partes interesadas tienen un papel decisivo basado en la información disponible o su correcta comunicación. En un proyecto de construcción participan distintas compañías, incluyendo empresas de arquitectura y construcción, quienes trabajan unidas en un período de meses, o incluso años, con una gran cantidad de documentos que gestionar. El sector de la construcción ha sido tradicionalmente caracterizado por el uso intensivo de papel (Titus & Bröchner, 2005). Sumado a lo anterior, la cantidad de información aumenta durante el proceso de compra o contratación, aumentando la burocracia. Asimismo, los proyectos frecuentemente sufren retrasos por problemas de flujo de trabajo (Titus & Bröchner, 2005). Los subcontratistas de grandes proyectos utilizan ineficientemente los canales de comunicación en obra (Titus & Bröchner, 2005). Lo anterior indica que la información debe ser capturada y comunicada eficientemente entre las partes interesadas, buscando mejores medios para gestionar los flujos de información, que resulten en un aumento de la productividad en los proyectos. Sin embargo, la ineficiencia en el manejo de información no depende únicamente del proceso de la industria o las tecnologías adoptadas (Titus & Bröchner, 2005).

La comunicación efectiva de datos entre los diversos grupos y niveles involucrados en un proyecto, enfatiza la necesidad de métodos eficientes de procesamiento de la información en la industria de la construcción (Chan & Kumaraswamy, 1997). El flujo de información para gestionar el avance y pago de subcontratos es de gran relevancia. Para esto, la industria utiliza diversas herramientas, softwares de gestión de proyectos y sistemas de gestión integrados (ERP). Entre los módulos disponibles en el mercado que manejan los ERP, la mayoría de ellos puede gestionar y controlar los subcontratos. Estos ponen énfasis en la documentación del subcontratista, sus actividades contratadas, los anticipos, las retenciones, los avances y los flujos de trabajo, para los estados de pago. Sin embargo, la mayoría de las opciones comerciales para la adquisición de softwares o soluciones de gestión de la industria, no son capaces de abarcar la especialidad u otras características necesarias para realizar el seguimiento de paquetes de trabajo (Shiau & Wang, 2003). Lo anterior, puede generar problemas para el pago de los subcontratistas.

Se ha encontrado suficiente evidencia de las ventajas y desventajas de la subcontratación. Además, se han estudiado características necesarias para la creación de paquetes de trabajos y seguimiento de éstos a medida que avanza la obra. No obstante, no se encontraron estudios enfocados específicamente en la gestión de avances y pagos para los trabajos subcontratados, flujos de trabajo o características generales que el proceso abarca. Es por esto, que en la presente investigación se definieron los siguientes objetivos: 1) entender los flujos de información asociados a los procesos de seguimiento y pago de las partidas subcontratadas; 2) evaluar el desempeño actual en los procesos de seguimiento y pago de las partidas subcontratadas; 3) identificar oportunidades de mejoramiento.

2.4 Metodología

La investigación se basa en tres métodos complementarios para cruzar información obtenida desde distintas fuentes así como se observa en la parte superior de la Figura 1.1. El primer método es una extensa revisión de literatura que fue complementada con entrevistas preliminares para obtener información necesaria del proceso de estados de

pago. El segundo método es una encuesta online que proporcionó datos más estructurados y representativo. Finalmente, un estudio retrospectivo de información de proyectos permitió evaluar información de casos concretos.

- 1- Entrevistas preliminares: Se realizaron 10 entrevistas a profesionales expertos con el propósito de obtener información de contexto que permitiera desarrollar un instrumento más estructurado de levantamiento de información (la encuesta). Las preguntas de la encuesta se validaron con juicios de expertos en 2 tandas de 10 personas, entre profesionales y académicos.
- 2- Evaluación del proceso en la industria: La encuesta constó de 4 secciones, partiendo por las variables de contexto (por ej., tipo de proyectos, tamaño de empresa y antigüedad de la empresa), y luego las tres secciones que capturan la información más técnica: la estructuración de subcontratos; los sub procesos de seguimiento de avance, generación y aprobación de estados de pago; y las características generales de la elaboración de estados de pagos a subcontratistas. La encuesta fue enviada por correo electrónico a distintas bases de datos a través de una plataforma de gestión de encuestas online. La población considerada para el estudio fue estimada de las estadísticas del Servicio de Impuestos Internos para el área geográfica del cual se obtuvo respuestas, resultado en 1217 empresas (Medianas y Grandes) de las regiones IV, V, VI, VII; VIII y Región Metropolitana. Se limitó a empresas medianas y grandes para asegurar el rol de contratistas generales y no incluir empresas que actuaran como subcontratistas. El número de respuestas fue de 109, representando nivel de confianza del 95% y un error aproximado del 7,2 %. El instrumento presentó un nivel de confianza interno del 0,985 de alfa de cronbach, lo que es considerado como muy confiable y consistente. La prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) para una muestra mostró que todas las variables involucradas no presentan comportamiento normal, por lo tanto, se optó por usar el coeficiente no paramétrico Spearman para medir correlaciones entre las variables.
- 3- Estudio retrospectivo: Este estudio incluyó los estados de pagos a subcontratistas de 15 obras en 5 empresas. Los proyectos estudiados fueron condominios, oficinas,

complejos deportivos y hospitales. El estudio consistió en el análisis de documentación acompañada de entrevistas semi estructuradas a profesionales de oficina técnica para complementar la información que no se pudo extraer de los documentos.

2.5 Resultados

Esta sección presenta los resultados integrados que fueron obtenidos con los distintos métodos de investigación (entrevistas, encuesta y casos retrospectivos). Se presenta en primer lugar una caracterización general de la subcontratación y luego se discuten los resultados asociados a los subprocesos de la gestión de los estados de pago: generación de contratos, seguimiento de avances, elaboración de estados de pago, y aprobación de estados de pago. Posteriormente se discuten las características del flujo de la información dentro de la gestión de subcontratos y se finaliza con un análisis de prácticas actuales y alternativas de mejoramiento respecto a estos procesos.

2.5.1 Datos Generales de subcontratación en la industria de la construcción chilena

Con el objetivo de medir volumen de subcontratación dentro de la construcción chilena, se consultó el costo directo asignado a subcontratos, presentando una media de un 43% mientras la mediana y la moda fueron de 40%. Por otro lado, el 75% de las empresas consultadas gastan al menos el 30% del costo directo en subcontratos. Estos porcentajes son inferiores a los valores reportados en la literatura (por ej., Hinze & Tracey, (1994)) lo cual refleja que si bien Chile ha ido incrementando su nivel de subcontratación, aún está por debajo de la realidad de otros países. El porcentaje de subcontratación no presentó tendencias según el tamaño de la empresa (facturación anual) ni del tipo de obra que ejecuta, pero si hay una tendencia creciente de acuerdo a la antigüedad de la empresa, es decir, a medida que la empresa es más antigua acude más a la subcontratación de los trabajos a ejecutar.

La Figura 2.1 muestra los principales rubros que son normalmente subcontratados, usando la clasificación de rubros contenida en el “Itemizado Estándar de Especificaciones Técnicas de Proyectos de Construcción” (CDT, CChC, AOA, MOP, & Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2016). Los rubros o especialidades más subcontratadas son los sistemas mecánicos de transporte (ascensores, montacargas y esclareas mecánicas) y las Instalaciones. Este hecho valida lo indicado anteriormente con respecto al hecho de que se subcontrata siempre lo más especializado en comparación a los trabajos tradicionales.

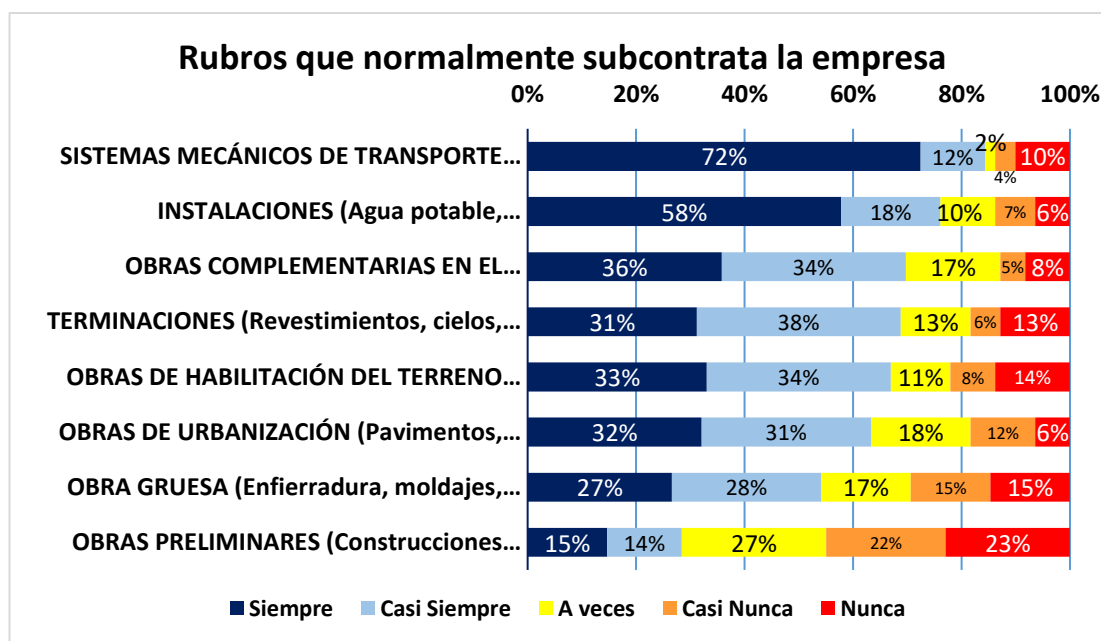


Figura 2.1. Porcentaje de subcontratación según el rubro

2.5.2 Generación de subcontratos

La Figura 2.2 muestra que los principales criterios usados por las empresas para estructurar los paquetes de trabajo que definen los subcontratos es el tipo de especialidad, con una amplia mayoría, seguido del tipo de subcontratación y por calidad necesaria para ejecutar el trabajo. Las demás formas de estructurar los paquetes se muestran con una frecuencia un poco menor y bastante similar entre sí, lo que podría explicar el bajo nivel de detalle en la estructuración interna de cada subcontrato, ya que muchas veces es un solo gran paquete definido por la especialidad. En esa misma línea, la ubicación dentro del

proyecto resultó ser el criterio menos utilizado para definir un paquete de trabajo, hecho que valida la dificultad para determinar quién hace cada trabajo cuando existen varios subcontratistas trabajando en una misma especialidad (Tam et al., 2011).

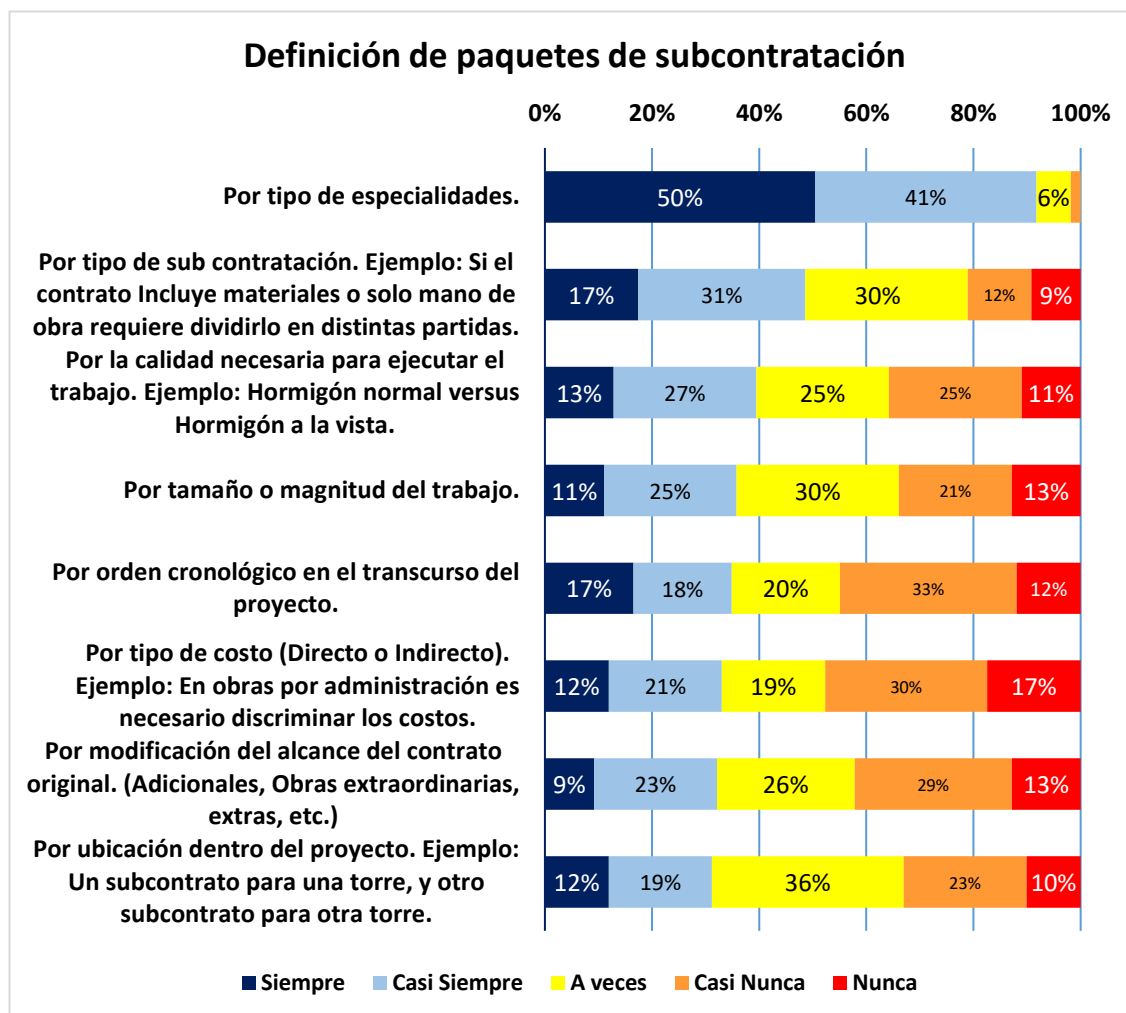


Figura 2.2 Criterios para definición de paquetes de subcontratación

En cuanto a los cambios que pueden producirse en un subcontrato, el 48 % de los encuestados indica que la definición de un subcontrato (alcance, cantidad o precio) sufre modificaciones entre los sucesivos estados de pago. Complementando el resultado de la encuesta, las entrevistas indicaron que la principal causa de estos cambios es no tener un proyecto definitivo al momento de contratar. Esta falta de definición del proyecto muchas

veces se asocia a un contrato de administración delegada entre el mandante y el contratista general. En este régimen contractual, se genera un ambiente propicio para la falta de definición del alcance en los subcontratos ya que difícilmente con el correr del tiempo se cuente con los datos necesarios para definir con detalle los paquetes de trabajo antes de iniciar la ejecución de los mismos. Por otra parte, los proyectos con un alto de grado de definición normalmente se asocian con el régimen contractual de suma alzada, ya que el contratista general está en condiciones de definir con detalle los entregables del proyecto y esto facilita la definición de los paquetes de trabajo.

2.5.3 Seguimiento de avances de obra

Esta sección discute las herramientas usadas en la medición de los avances, frecuencia de medición para los estados de pago y los actores que participan en este proceso. Además, se discute la complejidad del seguimiento según las especialidades.

La Figura 2.3 muestra que los planos y planillas impresas son la principal herramienta usada para medir avance. Es interesante el hecho que los modelos 3D / BIM son muy poco utilizados para estos fines, con un 77,2% de profesionales que declaran que nunca o casi nunca los utiliza. Esto se puede explicar con el énfasis que se le ha dado al uso de modelos virtuales en las etapas de diseño, coordinación y planificación, con un uso aún limitado durante la construcción misma (Cao et al., 2015).

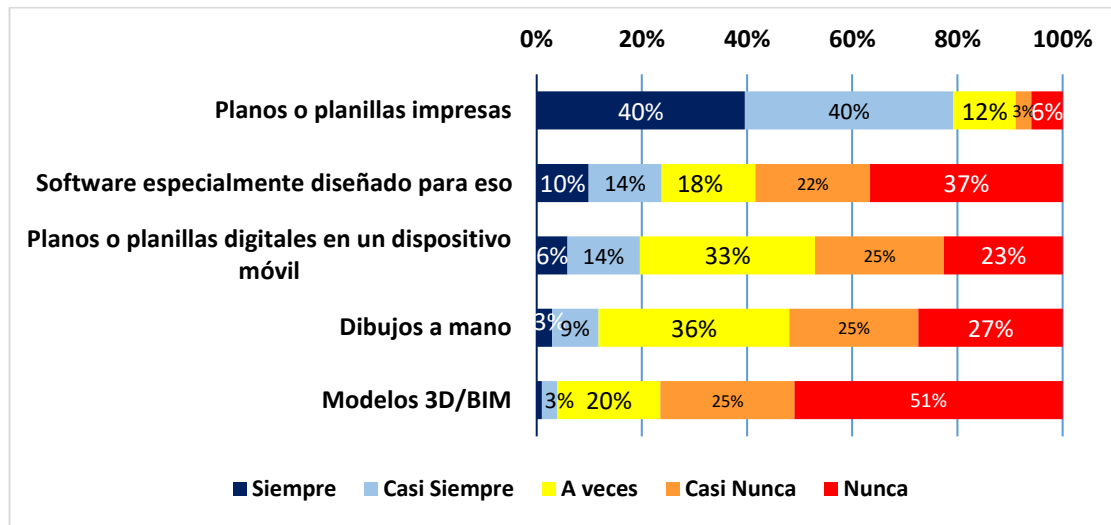


Figura 2.3. Herramientas de apoyo para el seguimiento de avances de obra

Respecto a las frecuencias de medición, el 47% de las respuestas indican estados de pago quincenales, seguido de la frecuencia mensual con 35% de las respuestas, y la frecuencia semanal con un 18%. El 72% de los encuestados indicó que las mediciones para realizar los estados de pago son además utilizadas para los informes de avance de la obra (Curvas S, indicadores de variaciones de plazo, etc.).

Según lo expuesto en las entrevistas a expertos, existen 3 combinaciones de actores que realizan la medición de avances para el pago los subcontratos en obra: profesionales de oficina técnica junto con profesionales de terreno, profesionales de oficina técnica con subcontratistas y profesionales de terreno con subcontratistas. Las entrevistas también indicaron que cuanto más grande sea la empresa, como es el caso de la mayoría de los subcontratistas de instalaciones, la medición es realizada por el subcontratista y validada por los profesionales de oficina técnica o de terreno. Al contrario, en el caso de subcontratistas menores, generalmente asociados a trabajos artesanales como la albañilería, la medición tiende a ser ejecutada por profesionales de terreno u oficina técnica en obra, debido a que dichos subcontratistas no cuentan con recursos suficientes para realizar esta tarea.

Respecto a la complejidad del proceso de medición y seguimiento, la Figura 2.4 las Instalaciones y Terminaciones son las especialidades asociadas a un mayor nivel de

complejidad. Al otro extremo, los procesos de medición más sencillos se presentan en obras preliminares y obras complementarias en el terreno.

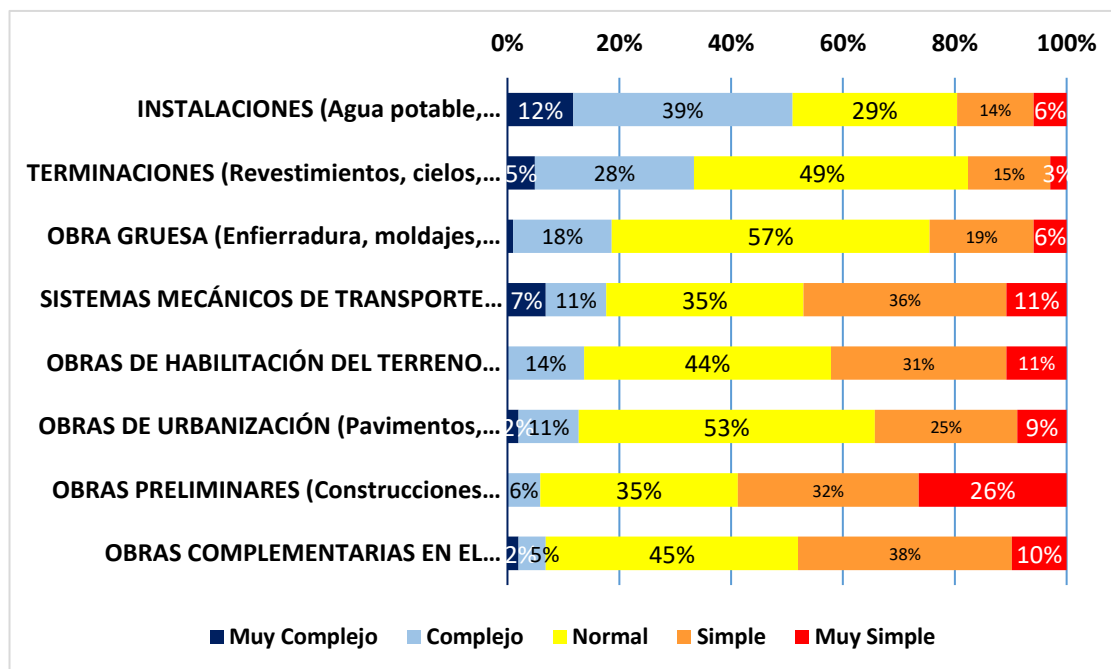


Figura 2.4 Complejidad en el proceso de seguimiento de avances

Algo que podría estar asociado a las declaraciones de dificultad de la medición, es el bajo nivel de estandarización de estos procesos. En esta línea, sólo el 53% de los encuestados declara que su empresa tiene procesos de medición estandarizados. Complementando esto, las entrevistas indicaron que la mayoría de los profesionales, ya sea de oficina u obra, no tienen un procedimiento pre establecido por la empresa para realizar las mediciones, es decir, cada quien va adoptando maneras de realizarlas según su experiencia personal. Finalmente, la Figura 2.5 indica la frecuencia de ciertos inconvenientes en el seguimiento de avance. Los principales inconvenientes son la falta de tiempo, seguido de las presiones que ejerce el subcontratista en el momento de realizar este proceso, y la falta de personas asignadas a este trabajo.

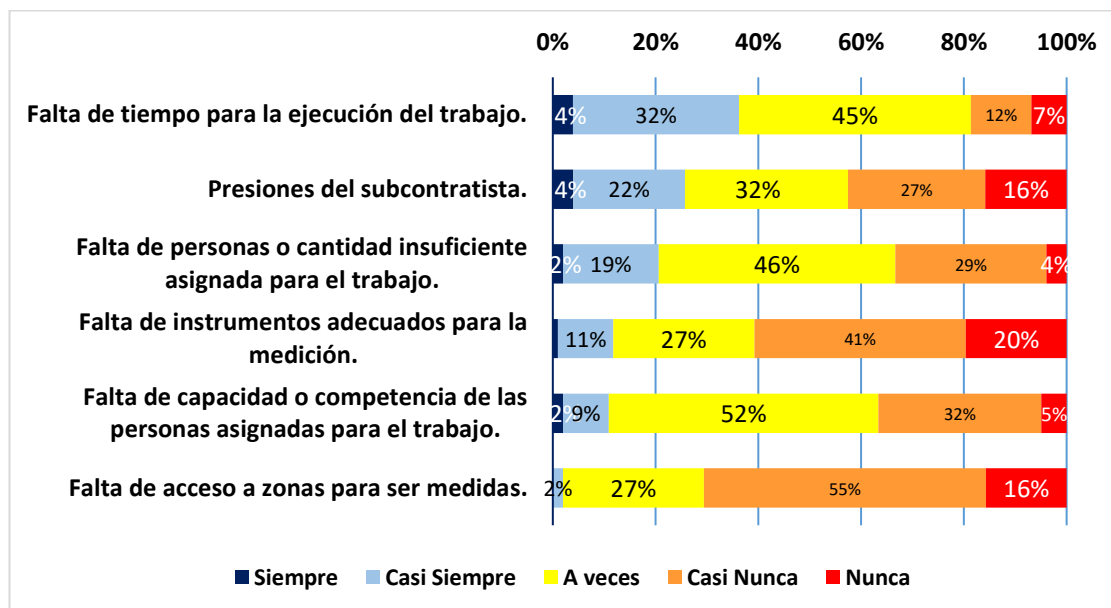


Figura 2.5. Inconvenientes en el seguimiento de avances de obra

2.5.4 Elaboración de estados de pagos

Esta sección discute las principales herramientas e inconvenientes de este proceso. En una gran mayoría (76%), las respuestas apuntan al uso de planillas de cálculo para elaborar los estados de pago. Esto es seguido del uso de ERP con un 48%, software comercial de estimación de costos con un 11% y software de desarrollo propio con 7%. La suma de los porcentajes anteriormente indicados supera el 100%, debido a que se dio la libertad de que las empresas indiquen más de una respuesta. Es interesante observar que, independiente del software utilizado, el 77% de los encuestados declaró contar con un proceso estandarizado de elaboración de estados de pagos.

En cuanto a los inconvenientes en la elaboración de estados de pagos, la Figura 2.6 muestra que la falta de tiempo para la ejecución del trabajo, seguido de presiones del subcontratista nuevamente son los mayores inconvenientes del proceso. Complementariamente, las entrevistas a expertos indicaron que la falta de estandarización del proceso de medición repercute en la generación de estados de pago ya que cada subcontrato se procesa de manera diferente, generando un uso excesivo de tiempo en la

carga y análisis de datos. Por otro lado, la entrega tardía de los datos y su falta de orden son problemas citados por todos los entrevistados y motivo por el cual se retrasa la elaboración del estado de pago.

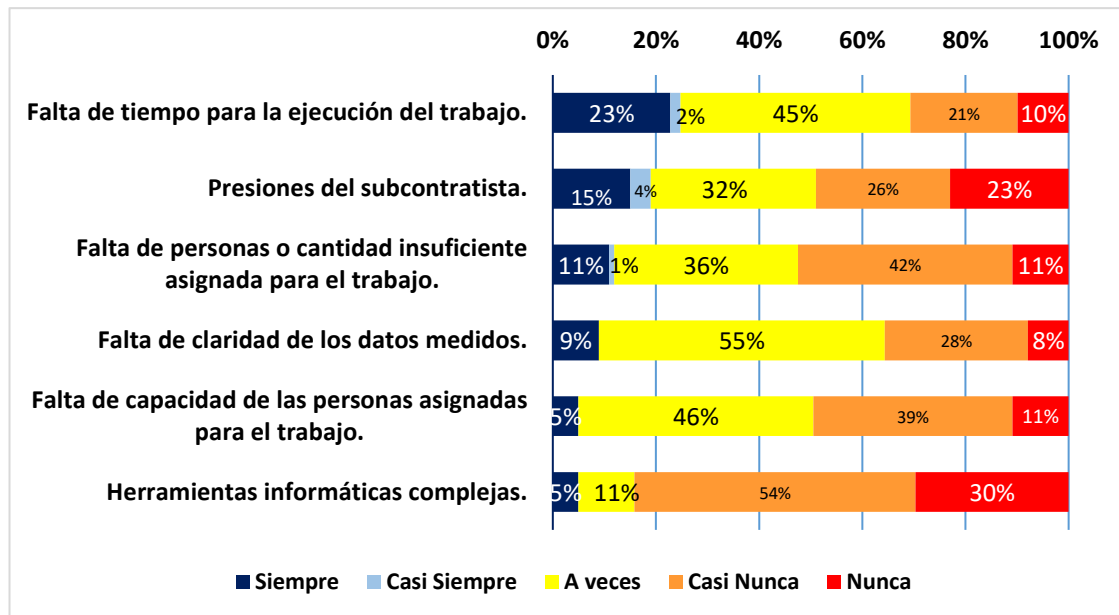


Figura 2.6. Inconvenientes en el proceso de elaboración de estados de pago

Las entrevistas también mostraron un aspecto distinto a los anteriores que tiene que ver con el uso de los estados de pago como herramienta de negociación con el subcontratista. En este sentido, durante este proceso, ambas partes ejercen presiones que no necesariamente están asociadas al trabajo real ejecutado y que buscan, entre otras cosas, acelerar el trabajo del subcontratista y optimizar flujos financieros de las partes. Esto genera una dinámica negativa en que el subcontratista busca incrementar sus avances mientras que el revisor de los mismos normalmente estaría recortando dichos avances.

2.5.5 Aprobación de estados de pago

Este proceso presenta un alto grado de estandarización, con un 88% de encuestados que declaran estar de acuerdo o muy de acuerdo con la afirmación de contar con un proceso de aprobación estandarizado en sus empresas. Según las entrevistas, esto se debe a la tendencia de las empresas a mejorar sus sistemas de gestión en el flujo de aprobaciones en el contexto de su sistema de gestión de calidad.

Independiente de esta estandarización, la Figura 2.7 muestra los principales inconvenientes en el proceso de aprobación, siendo la falta de antecedentes requeridos el más citado por la encuesta. Las entrevistas nuevamente agregaron una dimensión importante a este proceso, ya que la mayoría de los entrevistados señaló que se tiende a dar avances proyectados a los subcontratistas que buscan ayudar a palear costos financieros producidos por el desfase entre medición y pago, y el desfase entre aprobación de modificaciones de alcance de contrato y la ejecución de estos trabajos. Estos avances generan una dificultad adicional para el aprobador de estados de pago, ya que los antecedentes no reflejan claramente la relación entre los pagos y los alcances reales de trabajo, y muchas veces los aprobadores no están en pleno conocimiento de los trabajos del día a día.

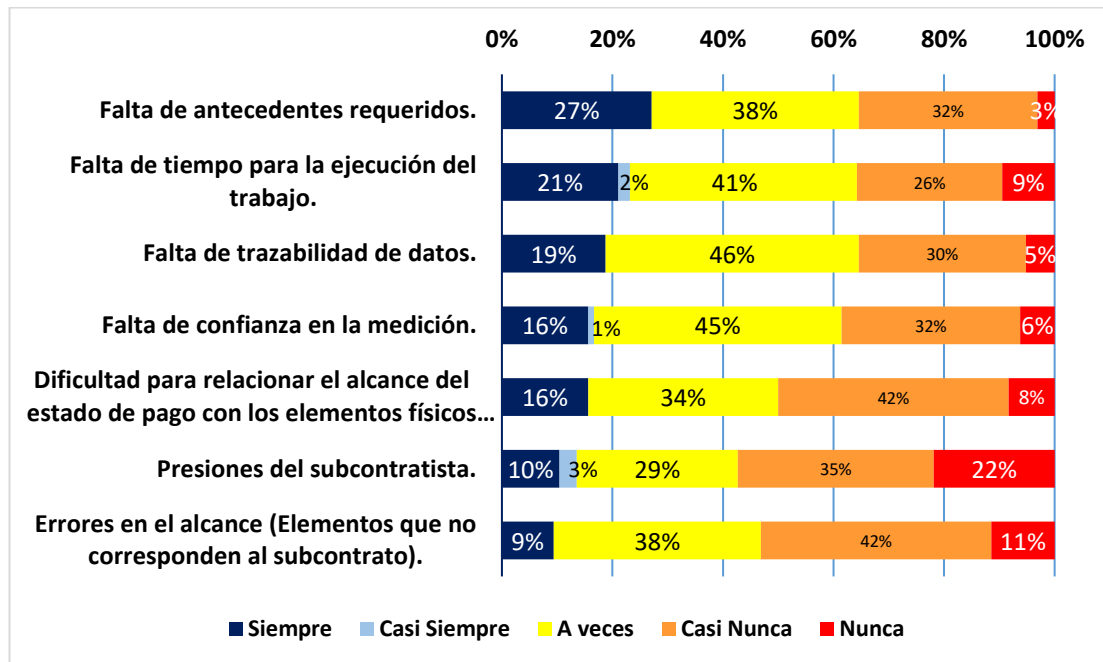


Figura 2.7. Inconvenientes en la aprobación de estados de pago

2.5.6 Medición del desempeño y flujo de la información

A pesar de que no existe un estándar en la industria respecto al proceso de estados de pago, el estudio retrospectivo de casos permitió definir un flujo general que se adapta a la mayoría de las empresas analizadas, el cual se ilustra en la Figura 2.8. Una característica llamativa es que cualquier reprobación en el proceso hace retroceder al mismo hasta la etapa inicial, es decir, se tienen que volver a repetir las diversas fases de aprobación que tenga el sistema.

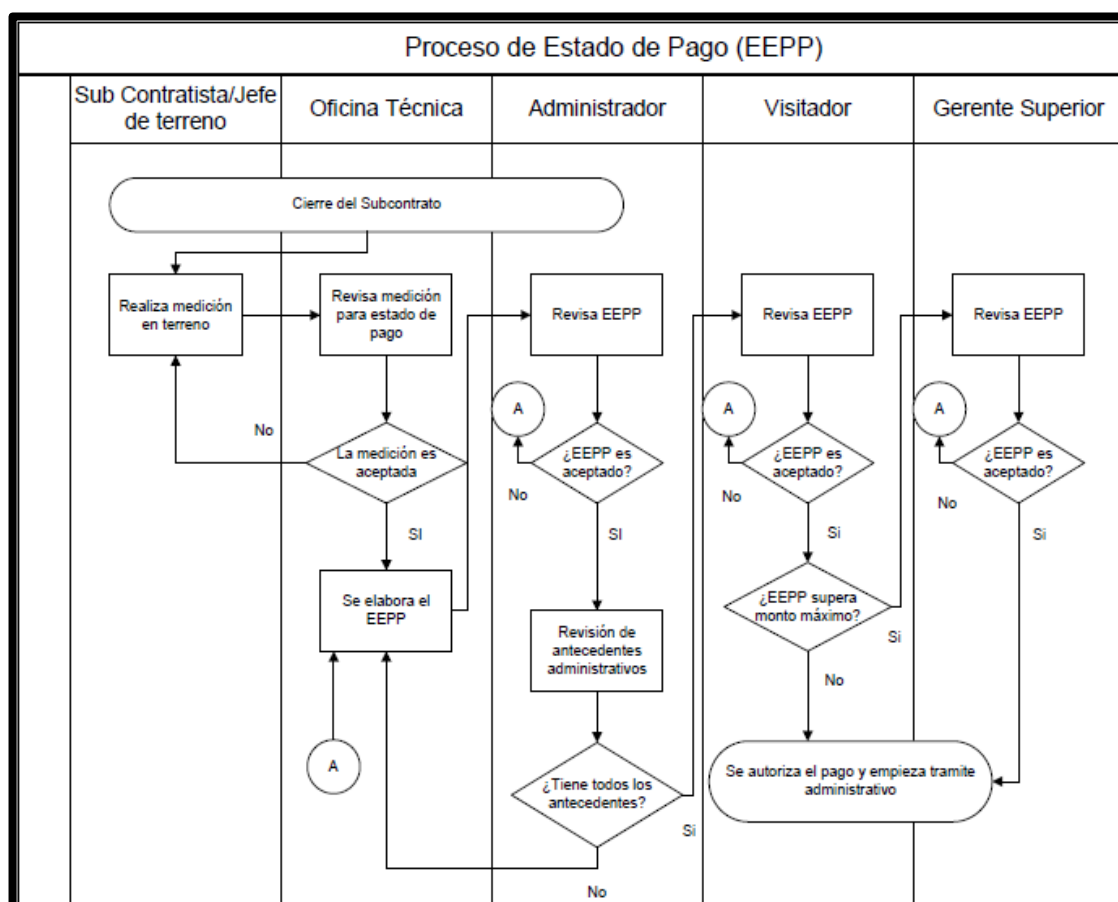


Figura 2.8. Flujo general de estados de pago.

Las encuestas mostraron que no existe correlación entre las variables de contexto (e.g., tamaño de empresa, tipo de proyecto, etc.) con los valores de estandarización, trazabilidad o consistencia de los estados de pagos.

Por otro lado, las tasas de estados de pago reprobados varían ampliamente entre un 0 y un 80% con una media de 16% (Tabla 2.2). La mediana y la moda de reprobación, que suelen representar mejor los datos cuando la desviación estándar es alta (como es en este caso), son de un 10%.

Tabla 2.2 Porcentaje de estados de pago reprobados.

	Media	Mediana	Moda	Percentil 25	Percentil 75	Desviación Estándar
Porcentaje de estados de pago reprobados	16,25	10,00	10,00	5,00	20,00	15,21

Además, los encuestados opinan que el 25% de los estados de pago reprobados generan retraso en el pago final del subcontratista, y el porcentaje que finalmente no son pagados es del orden de un 7,2%. En esa misma línea, el 8,4% de los estados de pago reprobados se convierte en problemas para el subcontratista como, por ejemplo, pedidos de reajustes de precios, abandono de obra, pleitos legales entre otros. Estos resultados agregan una perspectiva diferente a lo ya expuesto por la literatura, la cual relaciona los retrasos en los pagos con un problema de flujo financiero de la empresa contratista. Los resultados de esta encuesta muestran que los retrasos también están relacionados a una deficiente gestión de los estados de pago en obra.

Otro aspecto importante que recogió la encuesta fue la percepción de los “cuellos de botella” que se producen en el proceso de gestión de subcontratos. 58% de los encuestados declara que al menos uno de los subprocesos (medición de avance, generación de estados de pago, y aprobación de éstos) se convierte siempre o casi siempre en un “cuello de botella”. La Figura 2.9 muestra una distribución de frecuencia más o menos similar entre los subprocesos pero donde se observa que la aprobación de los estados de pago es el subproceso que se convierte en cuello de botella en forma más reiterada. Esto puede deberse a que la aprobación depende de varios actores que no se encuentran físicamente en la obra, como puede observarse en el flujo de la Figura 2.8.

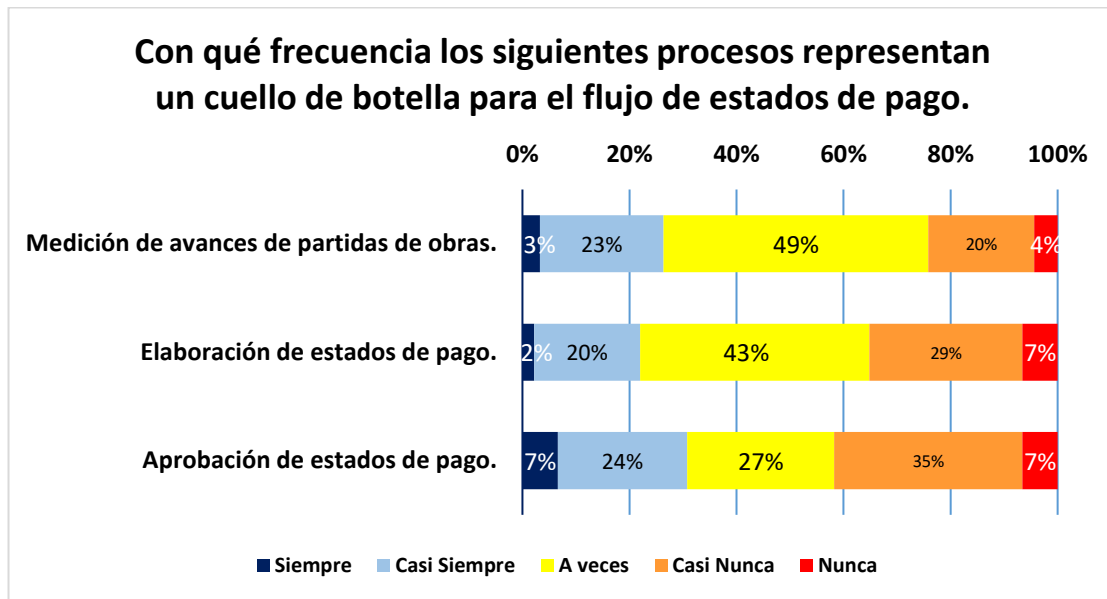


Figura 2.9 Cuellos de botella del proceso de estados de pago

El análisis de correlaciones de la encuesta mostró que a mayor ingreso de la empresa se genera más cuello de botella en las mediciones de avances de partidas de obras (coeficiente de correlación de -0,203), y a menor jerarquía en los trabajadores de oficina (cargo del que responde la encuesta) se percibe más congestión en la elaboración de estados de pago y la aprobación de los mismos (correlaciones de 0,299 y 0,267 respectivamente). Si bien estas correlaciones son bajas muestran comportamientos interesantes. La correlación con el tamaño de la empresa puede estar relacionada con la complejidad de los proyectos que estas empresas realizan y los consecuentes desafíos generados en la etapa de medición de avances. Por otro lado, la correlación con la jerarquía de los trabajadores puede evidenciar un sesgo de los encuestados ya que muestra un aumento de congestión en procesos en los que estos trabajadores tienen una participación menor.

En la Figura 2.10, se ilustra qué porcentaje de tiempo indicó que dedica cada profesional en los diferentes procesos de los estados de pago a subcontratistas. Diversos profesionales de obra, dependiendo del cargo, pasan gran parte de su jornada realizando estados de pago. Estos valores representan un porcentaje no despreciable para dar pie a mejoras en los

procesos. Respecto del porcentaje de tiempo que gastan en estas labores, existe una relación entre la medición, la elaboración y la aprobación (Correlaciones de 0,349, 0,277 y 0,377 respectivamente), por lo tanto, a menor jerarquía de los profesionales, se destinan un mayor tiempo en las funciones antes señaladas.

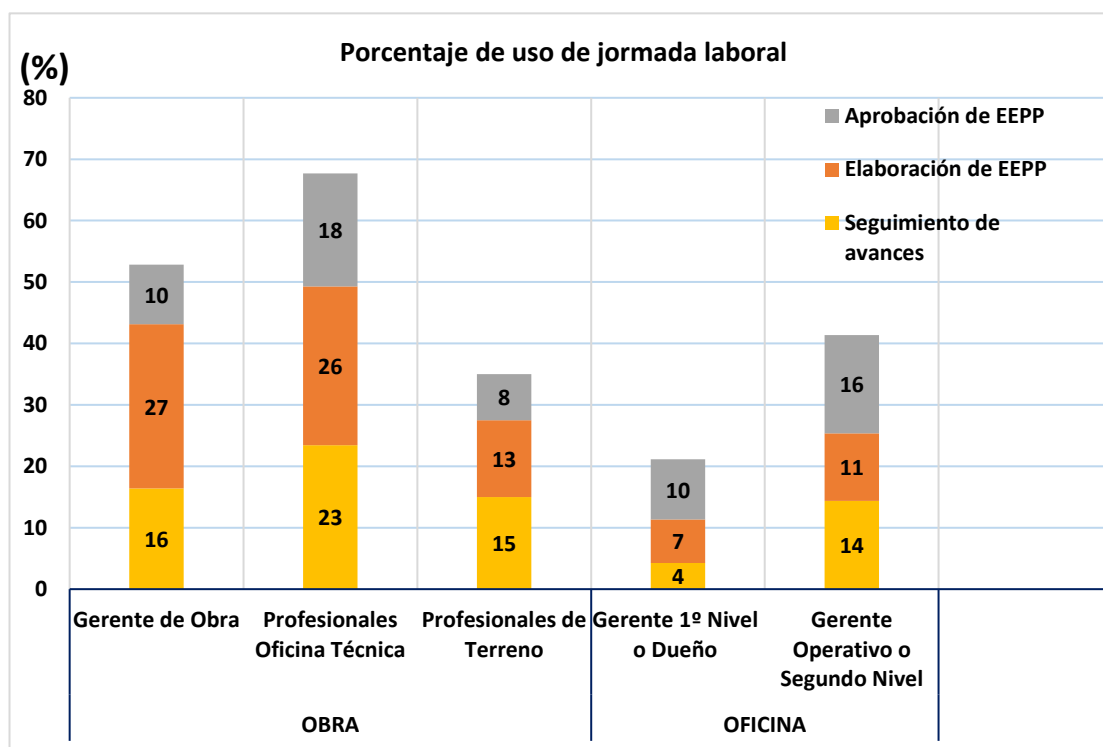


Figura 2.10. Porcentaje de uso de la jornada laboral

2.5.7 Análisis de prácticas y alternativas de mejoramiento

En las entrevistas de los casos retrospectivos se evaluaron características de los estados de pago que dependiendo de las prácticas utilizadas por cada empresa repercuten en forma positiva o negativa en el proceso. Se levantaron buenas y malas prácticas utilizadas en la industria, la Tabla 2.3 indica un análisis de cómo estas prácticas tienen una influencia positiva, neutra o negativa en las características del proceso de estado de pago, según la percepción de los entrevistados.

		CARACTERÍSTICAS									
		Estandarización de procesos Disminución del tiempo necesario para realizar el trabajo Capacidad de las personas Cantidad de personas que realizan EEPP Impacto de las Presiones del Subcontratista en el EEPP Claridad de los datos Trazabilidad de los datos Confianza en los datos Cumplimiento de antecedentes requeridos Capacidad de relacionar alcance con los elementos físicos									
Buenas Prácticas	Tener un encargado de EEPP	—	▲	▲	▲	—	—	—	—	▲	—
	Mantener un equipo de trabajo	▲	▲	▲	▲	—	—	—	—	—	—
	Cruzar datos con el control de producción	—	▼	—	—	—	▲	▲	▲	—	▲
	Base de datos ordenada y codificada	▲	▲	—	—	—	▲	▲	▲	—	▲
	Basarse en cubricaciones realizadas por la administración de la obra	—	▼	—	—	—	▲	—	▲	—	▲
	Separar los trabajos por sector	▲	—	—	—	—	▲	▲	—	—	▲
Malas Prácticas	Dar anticipos y no avance proyectados	▲	—	—	—	▲	▲	—	▲	—	▲
	Llevar avances parciales y no acumulados	—	—	—	—	—	▼	▼	▼	—	▼
	La falta de experiencia para gestionar el subcontrato	—	▼	▼	—	▼	—	—	—	▼	—
	Adelantar avances	—	—	—	—	▼	▼	▼	▼	—	▼
	Desorden en la gestión de los datos	▼	▼	—	—	—	▼	▼	▼	—	▼
	Utilizar mediciones de los subcontratistas	—	▲	—	—	▼	—	—	▼	—	—
	Utilizar mediciones de propuesta	—	▲	—	—	—	▼	▼	▼	—	▼
	Utilizar partidas contratadas para pagar trabajos no contratados	—	▲	—	—	▼	▼	▼	▼	—	▼

Tabla 2.3 Efectos de buenas y malas prácticas en la ejecución de estados de pago

El hecho de mantener una base de datos ordenada y codificada es la que tiene mayor impacto, positivo en el caso de contar con una y negativo en el caso de no contar, ya que indica un desorden generalizado. Dar anticipos, en vez de proyectar avances, también se considera una alternativa que ayudaría a mantener bajo control tanto a los subcontratistas que presionan para tener mayor flujo de efectivo y al seguimiento de avances que no se ve contaminado por datos falsos.

La encuesta mostró que el 93% de los encuestados presentó un grado de acuerdo (muy de acuerdo y de acuerdo) con que los estados de pago de su empresa son consistentes con lo que realmente se ha ejecutado. Este alto porcentaje parece contradecir lo capturado en las entrevistas, las cuales cuestionaban la representatividad de los estados de pago en cuanto a avance producto de los adelantos realizados por temas financieros y cambios de alcance. Si bien esta contradicción es desconcertante, se podría explicar porque la encuesta apuntaba solamente a la correctitud de las mediciones de avance, además que solo el 25

% mencionó estar muy de acuerdo con la consistencia de los estados de pago dejando un espacio de interpretación como posibles inconsistencias del proceso.

Respecto a las oportunidades de mejoramiento, el 85% de los encuestados piensa que los procesos de seguimiento y pago de partidas de obras tienen grandes oportunidades de mejoramiento. La Figura 2.11 describe las principales acciones para mejorar los procesos de estados de pago, con mayor aceptación están los métodos tradicionales de mejora a través de la capacitación y estandarización de procesos. La implementación de tecnología al proceso tiene menor aceptación y esto puede deberse a la resistencia aún existente de las empresas en incorporar estas metodologías innovadoras por no entenderlas ni tener los recursos humanos y técnicos disponibles, lo que las lleva a tener una percepción de esfuerzo necesario muy alto.

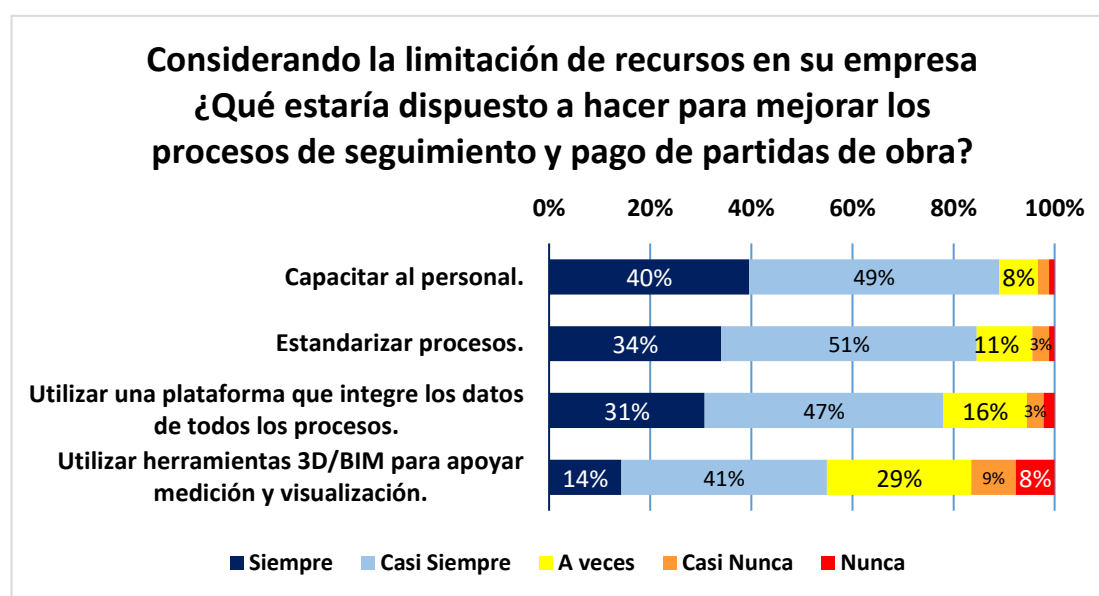


Figura 2.11 Alternativas de mejoramiento de los procesos de estados de pago

Con respecto a los estados de pago en general, existe una relación entre el tipo de cargo y las principales acciones de mejoramiento propuestas. El tipo de cargo se relaciona con estandarizar los procesos (correlación de 0,211), es decir a menor jerarquía en la empresa se está de acuerdo con mejorar los procesos para mejorar el seguimiento y pago de partidas de obra. Este hecho nos da indicaciones de que existen varias perspectivas de acuerdo al

tipo de cargo que se desempeñen en las empresas. Para el análisis se dividieron los cargos en 2 grupos (Oficina Central y Obra) y 3 sub categorías, de acuerdo a la jerarquía en cada grupo.

Las que agrupan la mayor cantidad de correlaciones son las que tienen relación con las variables cargo de los profesionales y el tipo de proyecto de la empresa. Para los profesionales de oficina a menor jerarquía es muy relevante (más de acuerdo) estandarizar estos procesos, junto con utilizar una plataforma que integre los datos (correlaciones de 0,345 y 0,347), es decir, para los empleados de oficina a menor jerarquía que realizan este proceso es más importante implementar acciones de mejoramiento que para gerentes o directivos de la empresa.

Finalmente se puede establecer en relación a los coeficientes que están relacionados con la estandarización de procesos que para los profesionales de oficina las variables más relevantes son el cargo de la empresa seguido del rubro, mientras que, en los profesionales de obra, la variable más fuerte es el tipo de proyecto de la empresa. Por lo tanto, mientras los empleados de oficina perciben que estandarizar los procesos es altamente relevante, los profesionales en obra piensan que la estandarización de los mismos procesos está asociada con mayor fuerza al tipo de proyecto a desarrollar.

2.6 Conclusiones

Este estudio obtuvo índices que permiten entender el grado de subcontratación en la industria (Media:43%) y a su vez sobre el tipo de rubros mayormente subcontratados (Instalaciones). Evaluando el desempeño del proceso se indican las reprobaciones de los estados de pago dentro de las empresas (16%) y en qué medida esto afecta las relaciones con los subcontratistas. Se determinaron los niveles de cuellos de botellas e inconvenientes en los subprocesos de estados de pago, la falta de tiempo y la presión ejercida entre contratistas y subcontratistas resultaron ser una tendencia en este proceso. Además, que una mala gestión de los estados de pago representa una causa atribuible al retraso en los pagos.

Se identificaron los actores principales y qué herramientas o softwares utilizan en las etapas de medición de avances y generación de documentos. Además, se indica cómo se estructuran normalmente los paquetes de trabajo y el nivel de complejidad del seguimiento dependiendo del rubro a subcontratar. El bajo nivel de detalle con que se generan los subcontratos y el alto nivel de cambios a medida que realizan el trabajo dificultan el seguimiento y pago de los mismos.

El proceso de aprobación de los estados de pago es el que presenta el mayor grado de estandarización y esto debido a que las empresas dedican recursos a mejorar sus sistemas de gestión en esta área, la mayoría dentro de un sistema de calidad. Por su parte, seguimiento de avances resultó ser el proceso menos estandarizado y que depende más del profesional que lo ejecuta y no de las metodologías utilizadas en cada empresa.

Varias prácticas y alternativas de mejoramiento fueron analizadas en función del posible impacto que generan en las empresas que lo ejecutan, entre ellas se puede mencionar que la capacidad de contar con una base de datos ordenada y codificada que permita manejar la espacialidad de la obra en función de los avances y pagos, sería de gran ayuda para mejorar los procesos en todas sus fases. De todas formas, el hecho de que el estado de pago sea una herramienta de negociación entre ambas partes, agrega un componente subjetivo al momento de ejecutar el proceso. Por lo tanto, es necesario el registro de toda decisión en algún tipo de plataforma que integre los datos y no sólo en la memoria de la persona que toma la decisión.

A nivel general las empresas demuestran mucha predisposición a trabajar para mejorar los procesos estudiados. Esto merece principal atención debido al alto uso de tiempo destinados a los procesos de estados de pago, independientes del cargo y afectando tanto a profesionales de obra como de oficina central de la mayoría de las empresas.

Este trabajo puede ser usado en la industria como base para evaluar procesos relacionados con la gestión de pago y como fundamento para estrategias en la gestión de proyectos relacionados con la subcontratación. La generación de paquetes de trabajo eficaces resulta clave para la correcta ejecución del proceso aguas abajo. Deben ser evaluados los riesgos técnicos y financieros al momento de invertir más recursos en el mejoramiento del proceso

de estados de pago de manera de decidir si compensa el ahorro de costos por ineficiencias en los pagos de trabajos subcontratados.

Ciertos aspectos de la metodología limitan los resultados de esta investigación, por ejemplo, la falta de indicadores medidos en proyectos respecto al desempeño de los procesos de gestión de estados de pago hace que debamos basarnos en apreciaciones de los encuestados, las cuales pueden tener algunos errores y sesgos. Como futuros trabajos se propone la incorporación de KPIs en el proceso de estados de pago que permita hacer una evaluación más cuantitativa. Otro trabajo futuro es el desarrollo de una metodología que aumente la eficiencia de los procesos de estado de pago y la transparencia de los datos para apoyar las aprobaciones de éstos.

3. EVALUACIÓN DE MÉTODO BIM PARA APOYAR EL SEGUIMIENTO Y PAGO DE SUBCONTRATOS DE OBRAS: BENEFICIOS Y DESAFÍOS

Los altos niveles de subcontratación en la construcción requieren gestionar grandes volúmenes de información. Por otro lado, BIM (Building Information Modeling) está demostrando su potencial para mejorar la eficacia y eficiencia en distintos procesos de la industria. Este artículo presenta y evalúa un método BIM para apoyar la contratación, seguimiento, elaboración y aprobación de estados de pago de trabajos subcontratados. Este método se basa en la gestión visual, uso de la nube, y funcionalidades analíticas de BIM. La metodología de investigación incluyó el uso de casos retrospectivos para desarrollar el método BIM y entrevistas a expertos para validarlo. La aplicación de este método a un caso de estudio mostró beneficios como evitar pagos que no corresponden (en un 10%) y la disminución de tiempos en el proceso (Hasta 5 veces). Esta aplicación también mostró que los principales desafíos están relacionados con el alcance del modelo BIM y la actualización del mismo para contener a los paquetes de trabajos subcontratados. Finalmente, este trabajo ilustra los beneficios de usar BIM como repositorio de información a través de la gestión visual que aporta al proceso y la automatización de las cubriciones necesarias para realizar los estados de pago.

Palabras Claves: BIM, Pago de subcontratos, Seguimiento, Gestión Visual.

3.1 Introducción

La subcontratación es un mecanismo de trabajo ampliamente utilizado en la construcción (Hinze & Tracey, 1994a) que se puede describir como el proceso contractual en que un contratista principal subcontrata parte del trabajo a otro contratista (Tam et al., 2011). Los niveles de subcontratación varían dependiendo de los países y tipos de proyectos pero la literatura reporta porcentajes entre 60% y 90% (Osorio, 2017; Eom, Yun, & Paek, 2008; Al-Hammad, 1993; Hinze & Tracey, 1994; Manu, Ankrah, Proverbs, & Suresh, 2013).

La oportuna y ordenada gestión de los subcontratos es muy importante para que el trabajo progrese eficaz y eficientemente (Rumane, 2010). El incumplimiento de las tareas de un subcontrato, puede ser una de las causas para el fracaso del proyecto (Arditi & Chotibhongs, 2005). A pesar de su relevancia, los procesos tradicionales de seguimiento y pago del trabajo de los subcontratistas presentan varias problemáticas y desafíos, como por ejemplo sistemas de monitoreo primitivos y lentos (Navon & Sacks, 2007), una comunicación ineficiente (Titus & Bröchner, 2005), la generación de una enorme cantidad de datos (Hogan, 2015), una medición de avance de la construcción que desperdicia mucho tiempo y mano de obra (Wang et al., 2016), y una alta dependencia en el juicio humano (Ibrahim, Lukins, et al., 2007), entre otras.

Varios de estos desafíos apuntan a problemas relacionados con un manejo eficaz y eficiente de la información relevante a la gestión del seguimiento y pago de subcontratos. En otras palabras, estos desafíos están relacionados con el flujo de información en terreno, el cual afecta significativamente todos los flujos de recursos (Dave, Boddy, & Koskela, 2010). De hecho, Sacks, Radosavljevic, & Barak (2010) indican que para minimizar el desperdicio de tiempo de trabajo en la construcción es clave lograr un flujo de trabajo estable, y enfoques modernos de gestión de producción como Lean Construction exigen flujos de información efectivos y oportunos para estabilizar los flujos de trabajo.

Por otro lado, Building Information Modeling (BIM) está siendo reconocido como una metodología eficaz para mejorar los flujos de información (Getuli, Ventura, Capone, & Ciribini, 2016; Volk, Stengel, & Schultmann, 2014; Wang et al., 2016). BIM es un recurso de conocimiento compartido que busca ser un repositorio de la información del proyecto

para apoyar la toma de decisiones durante su ciclo de vida (Matthews et al., 2015; Vanlande et al., 2008). De hecho, BIM ha sido usado para apoyar diversos procesos en la fase de construcción (Sacks et al., 2010) y algunos autores (Wang, Chen, & Lu, 2015) sugieren utilizar BIM para mejorar los procesos de gestión de subcontratistas.

Por lo tanto, este artículo presenta una conceptualización de los procesos de gestión de estados de pago de los subcontratistas y un método basado en BIM para apoyar estos procesos. El artículo muestra el impacto logrado al usar este método en un caso de estudio. Las próximas secciones entregan antecedentes del proceso de gestión de pagos de los subcontratos y discuten estudios previos sobre cómo la metodología BIM ha sido usada para mejorar los procesos de gestión de información en terreno.

3.2 Gestión de pagos de subcontratos

El gran volumen de trabajo subcontratado se gestiona mediante estados de pagos que, a partir de un contrato con una definición inicial del alcance (paquete de trabajo), van incluyendo avances parciales del trabajo en base a mediciones en terreno y elaborando solicitudes de pago periódicas que pasan por un flujo de aprobación.

Osorio (2017) entrega bastante información sobre los procesos de la gestión de pago de subcontratos. Este autor identificó que los principales criterios usados en la edificación chilena para definir los paquetes de trabajo a subcontratar son el tipo de especialidad, tipo de servicio subcontratado (mano de obra, materiales o la combinación de ambos), y la calidad requerida en el trabajo. Por otro lado, este autor también indica que la complejidad del seguimiento de los trabajos varía dependiendo del tipo de contrato utilizado y la especialidad, con un uso predominante de herramientas basadas en documentos impresos. En este sentido, Sacks, et al. (2010) señalan que la confianza en documentos en papel para comunicar la información del proyecto genera errores de documentación de diseño, falta de claridad, y potencial obsolescencia de la información. De hecho, Osorio (2017) identificó que el proceso de seguimiento de avance se convierte en un cuello de botella al momento de gestionar los pagos, consumiendo muchos recursos.

Respecto a la elaboración de los estados de pagos, este autor señala que hay un alto uso de planillas de cálculo y sistemas ERP (Enterprise Resource Planning). Sin embargo, estas

herramientas presentan desafíos para compilar eficientemente la información y representar claramente el avance del subcontratista. Además, muchas veces los estados de pago son usados como una herramienta de negociación entre las partes interesadas, lo que genera situaciones en las que estos documentos incluyen tareas no realizadas que son difíciles de diferenciar del avance real (Osorio, 2017).

La aprobación de los múltiples estados de pagos en cada periodo también se transforma en un cuello de botella, ya que el administrador de obra (usualmente a cargo de estas aprobaciones) no siempre está en pleno conocimiento de las tareas ejecutadas y los acuerdos con los subcontratistas. Alineado con esta observación, Sacks, Treckmann, & Rozenfeld (2009) señalan que la cantidad de subcontratos hacen difícil visualizar la ubicación y avance de los equipos de trabajo. Osorio (2017) señala que entre un 15% y 20% de los estados de pago son reprobados por problemas como la falta de antecedentes, trazabilidad de datos, confianza en los avances, errores en el alcance o dificultad para relacionar el contrato con los elementos físicos de la obra. Además, el 25% de los estados reprobados generan retrasos en el pago al subcontratista y casi el 10 % se convierten en solicitudes de reajustes de precios, abandonos de obras y pleitos legales, entre otras.

Varias de las problemáticas identificadas en la literatura discutida estaban vinculados con la eficiencia del proceso de seguimiento de avance y la visualización espacial de estos avances con respecto a los distintos subcontratos. El presente estudio busca hacerse cargo de estos problemas a través del uso de metodologías BIM. La siguiente sección discute cómo BIM se ha usado en aplicaciones similares de gestión de información en terreno.

3.3 Uso de BIM para la Gestión de Información en Terreno

Algunos autores han sugerido el uso de BIM para apoyar la gestión de subcontratos. Wang et al. (2015) sugieren que los modelos BIM pueden ser usados para definir, licitar y contratar los paquetes de trabajo de los subcontratistas. Bryde, Broquetas, & Volm (2013) sugiere el uso de BIM para la coordinación de especialidades como una forma de mejorar la gestión de subcontratos. Complementando, Lu & Korman (2010) indican que BIM ayuda a definir claramente el alcance de los trabajos subcontratados, permite la extracción automática de la cantidades y facilita mostrar el proyecto a los subcontratistas de

especialidades de la obra. Sin embargo, la literatura no ha explorado su aplicación específica a la gestión de los pagos de subcontratistas. No obstante, hay varios estudios que discuten el uso de BIM para apoyar la gestión de información en obra y que ofrecen algunas estrategias que pueden ser usadas para los procesos de gestión de pago de subcontratos.

Becerik-Gerber, Jazizadeh, Li, & Calis (2011) señalan que el integrar una base de datos externa con la base de datos de BIM podría ser beneficiosa para una variedad de prácticas que requieran el control sobre el uso de recursos y las especialidades de la obra. Complementando esta estrategia, varios autores discuten el rol de la nube como una forma de integración. Volk, Stengel, & Schultmann (2014) señalan que el seguimiento del avance en terreno a través de procesamiento en la nube representa una potencial tendencia futura de captura automatizada y transformación de información del proyecto a BIM. Getuli, Ventura, Capone, & Ciribini (2016) también señalan que el sistema de monitoreo apoyado por el modelo de visualización basado en BIM y gestionado en la nube parece ser una de las indicaciones para mejorar la productividad y control en la obra. Matthews et al. (2015) y Redmond, Hore, Alshaw, & West (2012) van más allá del proceso de construcción al señalar que el uso de la nube hace posible la colaboración en tiempo real y proporciona a equipos de proyecto la capacidad de utilizar BIM desde el diseño hasta la construcción.

Otra línea de investigaciones han destacado el uso de BIM integrado con la tecnología móvil (Tabletas, teléfonos inteligentes y puntos de acceso móvil) para colaborar a eliminar cuellos de botella en la fase de la construcción (Sattineni & Schmidt, 2015), mejorar la eficacia de la gestión, y aumentar la eficiencia operativa (Son, Park, Kim, & Chou, 2012). Hogan, (2015) discute los beneficios de la eliminación del papel con el uso de BIM y tecnologías móviles en función de la reducción de costos, optimizar las comunicaciones y toma de decisiones y la mejora del trabajo en equipo. Ibarra (2016), incluso propone utilizar tecnología móvil y BIM para un sistema que integre producto y procesos con el fin de realizar controles diarios de acuerdo con el horizonte de corto plazo de Last Planner System®, verificación de la calidad in situ y la creación de modelos BIM as built y as-

planned. Las comparaciones entre estas representaciones proporcionaron información visual oportuna en los procesos de toma de decisiones in situ.

Algunos trabajos también discuten el uso de sensores, el escaneo laser 3D y la fotogrametría (El-Omari & Moselhi, 2008; Hwang & Liu, 2010; Rebolj, Babič, Magdič, Podbreznik, & Pšunder, 2008; Roh, Aziz, & Peña-Mora, 2011) para incorporar al seguimiento de avance de forma a superponer o actualizar modelos BIM (Peña-Mora, Golparvar-Fard, Aziz, & Roh, 2011) dependiendo la utilización específica de cada caso en particular. Estos estudios se centran en la recolección de datos sobre las cantidades de productos finales físicos consumados (Wang et al., 2016), buscando obtener la información en forma automatizada y en tiempo real utilizando BIM como base para la integración en el desarrollo de soluciones.

Varios autores han discutido la importancia de la interoperabilidad para el uso de BIM en la gestión de información en terreno (Babič, Podbreznik, & Rebolj, 2010; Jardim-Goncalves & Grilo, 2010; Juan, 2013; Redmond et al., 2012; Vanlande et al., 2008; Wang et al., 2015). Jeong, Eastman, Sacks, & Kaner (2009) señalan que es esencial compartir archivos digitales no sólo entre aplicaciones BIM, sino también con otras herramientas útiles para el diseño, construcción, administración y mantenimiento. Sin embargo, las herramientas usadas manejan información geométrica, niveles de detalle, elementos constructivos e información basado en sus propias reglas de sistema (Lee, Smith, & Kang, 2011). Una estrategia para reducir el impacto de la interoperabilidad en BIM es el uso del estándar IFC (Industry foundation classes). IFC proporciona un formato neutral de datos (que es una norma ISO) que reduce los problemas de interoperabilidad entre sistemas (Vanlande et al., 2008). Sin embargo, el modelo IFC tiene limitaciones de cobertura para incluir información geométrica y no geométrica de diseño, construcción y operación (Jeong et al., 2009).

En resumen, hay varias estrategias respecto a elementos que debiera contener un método BIM para gestionar información en terreno. Ese trabajo rescata la integración con bases de datos externas, el uso de la nube, el uso de dispositivos móviles y la relevancia del estándar IFC como una forma de disminuir problemas de interoperabilidad.

3.4 Objetivos

Este trabajo busca reducir errores y mejorar la eficiencia en el proceso de gestión de pagos a subcontratistas a través de un método basado en BIM. Este objetivo general deriva en los siguientes objetivos más específicos.

- Entender la relación entre las estructuras de información en modelos BIM y flujos de información asociados a los procesos de seguimiento y pago de las partidas subcontratadas.
- Definir un método BIM para apoyar la gestión de pagos de subcontratistas.
- Evaluar el impacto de este método BIM.

3.5 Metodología

La Figura 3.1 describe los principales actividades y métodos de investigación, y los relaciona con los objetivos de investigación señalados anteriormente.

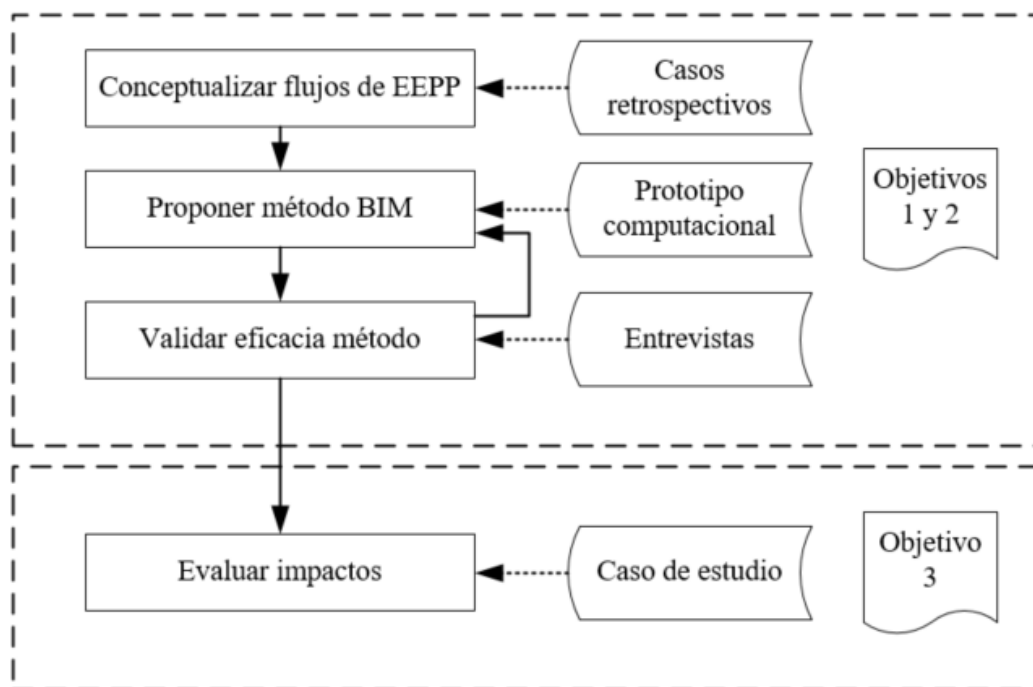


Figura 3.1. Metodología de la investigación

- Conceptualizar flujos de estados de pago: para poder entender y conceptualizar los flujos de información que se producen durante el seguimiento y pago del avance de los subcontratos, esta etapa utilizó el análisis de 15 proyectos recientemente concluidos o en proceso de término de 5 empresas constructoras. Este análisis incluyó entrevistas a profesionales que participaron del proceso de elaboración y aprobación de estados de pago, y la revisión de la documentación respectiva de los estados de pago.
- Proponer método BIM y validar eficacia: La conceptualización del flujo de estados de pago permitió definir un modelo de datos y un método BIM para apoyar el proceso de pagos de subcontratistas. El prototipado computacional apoyó la definición del método y la validación de éste a través de las entrevistas a 5 expertos de un total de 3 empresas constructoras. Un criterio usado para la selección de estos expertos, fue que las empresas a las que pertenecen tuvieron un nivel aceptable de uso de BIM en sus procesos.
- Evaluar impacto del método BIM: La evaluación consistió de un caso de estudio donde se utilizó el método BIM propuesto para generar y aprobar estados de pago. Love, Holt, & Li (2002) indican la importancia de usar triangulación de fuentes de datos para evitar problemas de sesgo y validez. Por esta razón, y siguiendo lo sugerido por Yin (2003), el caso de estudio utilizó diversas fuentes de información: recolección de datos in situ, revisión documental y entrevistas semi estructuradas.

3.6 Resultados

3.6.1 Conceptualización de flujos de Estados de Pago a subcontratistas

El estudio de casos retrospectivos reveló una variabilidad considerable en los procesos de gestión de pagos de subcontratos entre las empresas e inclusive dentro de una misma empresa. Las entrevistas con expertos de las empresas fueron claves para poder extraer

los subprocesos principales que de alguna u otra forma (a veces agrupados y otras en forma independiente), son realizados por las empresas. La Figura 3.2 ilustra estos subprocesos desde la contratación hasta la aprobación para el pago de subcontratistas.

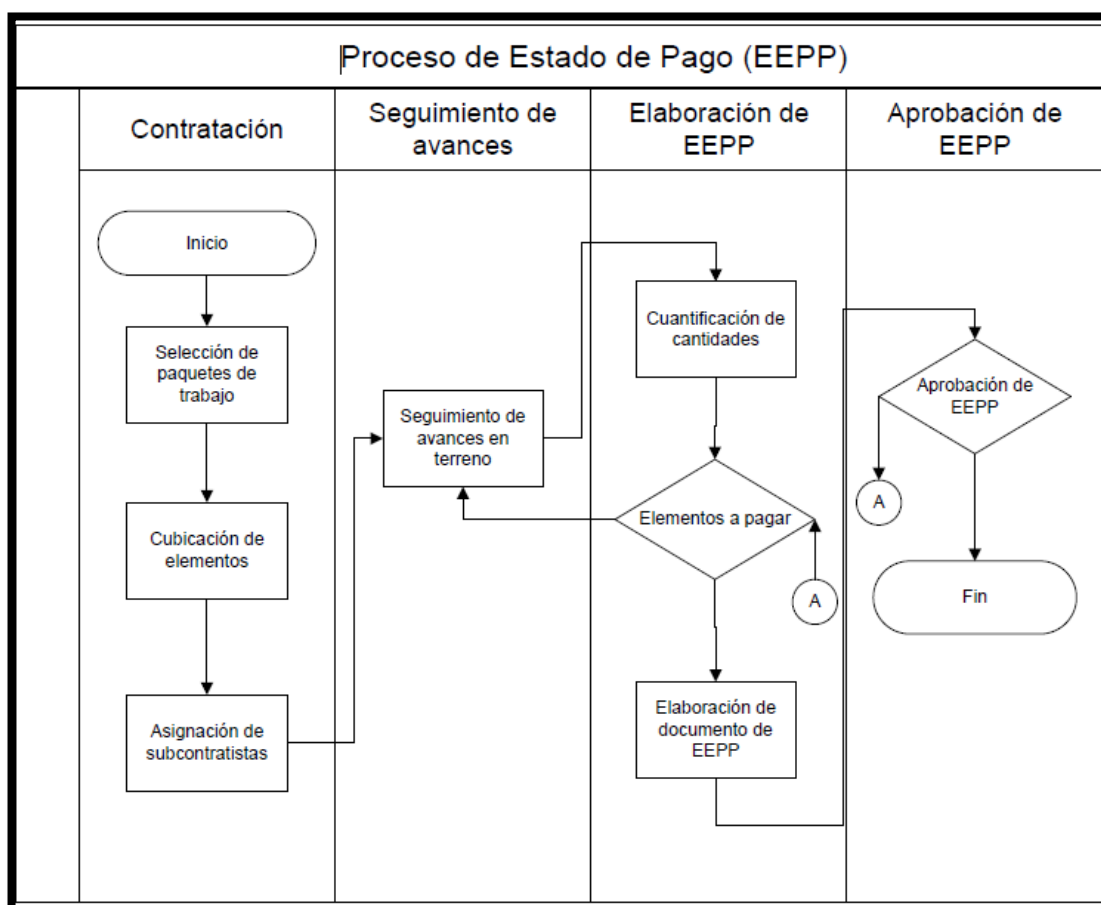


Figura 3.2. Proceso conceptual de gestión de pagos a subcontratistas.

Dependiendo de la empresa podría no tener el mismo orden pero los pasos descritos en la Figura 3.2 normalmente se cumplen. Una vez iniciada la obra se procede a la contratación en donde se seleccionan los paquetes de trabajo a subcontratarse según diversos parametros, por ejemplo, tipo de especialidad, tipo de subcontratación, etc. (Osorio, 2017). Posteriormente, se recurre a cubicaciones previamente hechas para cuantificar el trabajo o se realizan nuevas cubicaciones en el caso no contar con ellas. En muchos casos se

utiliza la cubicación realizada por el subcontratista que ha sido asignado para el trabajo. Dependiendo del tipo de contrato que se haya pactado con el subcontratista, el seguimiento de avances se vuelve más intensivo. Por lo general, cuando el contrato es a suma alzada sólo se monitorea el trabajo y se estima porcentajes de avances para luego ir pagando periódicamente. Cuando el trabajo es por precio unitario o requiere mayor atención debido a la criticidad del mismo en el cronograma, se realizan seguimientos de avances en terreno que se cuantifican a modo de control de producción. Este control no siempre discrimina el avance por subcontratista, cuando hay más de uno realizando la misma partida.

En cuanto a la elaboración de estados de pago, normalmente las empresas tienen un calendario de pagos en donde indican las fechas límites para que las obras presenten los estados de pagos de los subcontratistas. Respetando estas fechas los encargados de elaborar los estados de pagos en las obras deben programarse para poder procesar toda la información necesaria y enviar los pagos a la oficina central. Como el estado de pago es un elemento de negociación con el subcontratista (Osorio, 2017), se negocia el monto o los avances a pagar de acuerdo a la producción del periodo. Una vez llegado a un acuerdo se elabora el estado de pago, cuantificando los datos del control de producción o los provistos por el propio subcontratista para luego pasar por el procedimiento de aprobación, el cual depende de cada empresa en particular.

El análisis de la documentación de los proyectos estudiados también permitió identificar los parámetros más relevantes utilizados para el seguimiento y pago de subcontratistas. La Tabla 3.1 explica estos parámetros.

Tabla 3.1. Parámetros relevantes para la gestión de estados de pago

Parámetros No Geométricos relevantes para la gestión de estados de pago	Descripción
Código del elemento	Identificador único para cada instancia de los elementos del modelo
Tipo de elemento	Categoría de elemento constructivo dentro del modelo BIM (por ej., viga hormigón 20/30)
Zona de trabajo	Descripción del área o sector donde se realiza el trabajo
Subcontrato/Paquete de trabajo	Código o nombre que identifica un alcance de trabajo a subcontratar
Tipo de contrato	Suma alzada, precio unitario o administración delegada
Fecha de estado de pago	Fecha en la que se elabora el estado de pago
Precio unitario del contrato	Valor por unidad de avance para los elementos de un contrato. Esto es relevante no sólo para los contratos de precio unitario sino también para el seguimiento y pago de avances en contratos de suma alzada.
Unidad de pago	Unidad usada para medir el avance (por ej., largo, peso, volumen, unidades) y que se usa para estimar el pago
Estado de avance del elemento	Descripción del estado de ejecución de un elemento del modelo, por ejemplo, sin iniciar, en proceso, o terminado.
Estado de pago del elemento	Indicador de si el elemento ya fue pagado o no
Número de estado de pago	Identificador del documento de estado de pago
Porcentaje pagado	Descripción de la cantidad del contrato original que ha sido pagada

3.6.2 Propuesta de método BIM

El método BIM propuesto para apoyar la gestión de pagos de subcontratos recoge varias de las estrategias identificadas en la revisión de literatura sobre el uso de BIM en la gestión de información en terreno. La Figura 3.3 ilustra los principales componentes del método a lo largo de los distintos subprocesos de la gestión de pagos de subcontratos: contratación, seguimiento de avances, elaboración de estados de pagos y aprobación de estados de pagos.

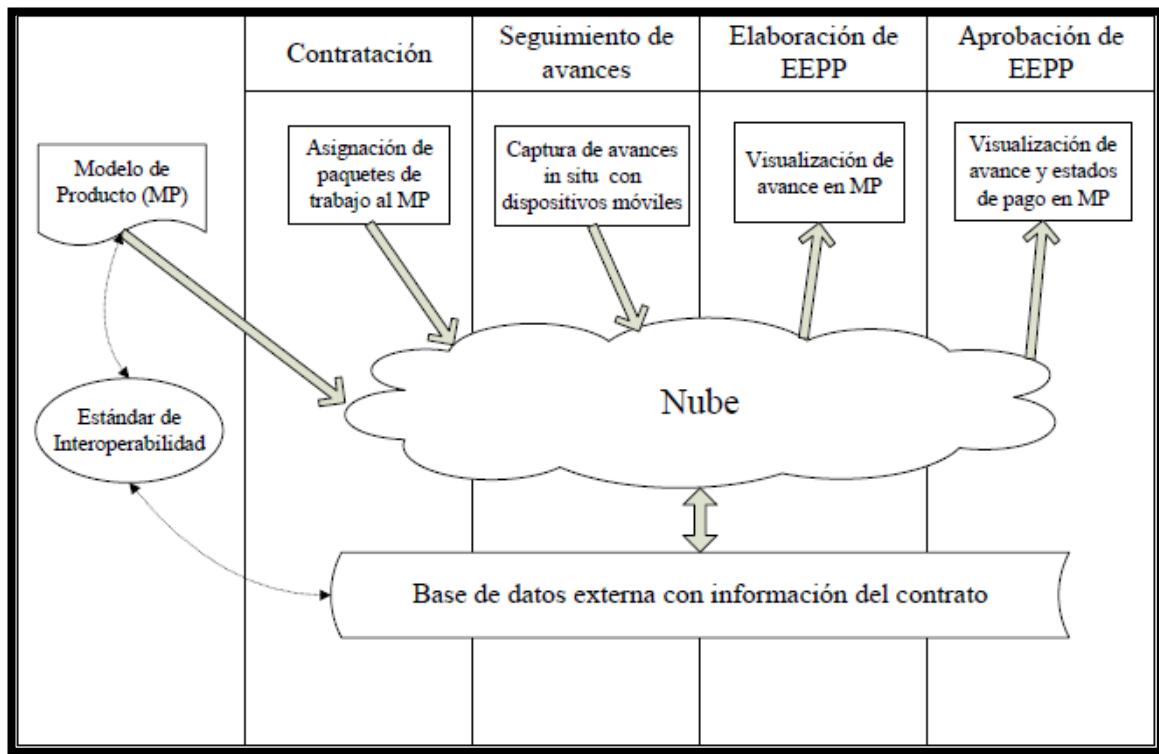


Figura 3.3. Método BIM propuesto

El método parte de la representación del producto de construcción (i.e., edificio, puente, planta industrial, etc.) en un formato BIM el cual es manejado en una nube para facilitar el acceso por los distintos actores del proceso de estados de pago. En la etapa de contratación, se deben definir los paquetes de trabajo a subcontratar en el modelo de producto que está en la nube. En la etapa de seguimiento de avance, se usan dispositivos móviles que permiten visualizar el modelo de producto que está en la nube y modificar su estado de ejecución. Finalmente, en las etapas de elaboración y aprobación de estados de pago, se puede visualizar el modelo en base a la información de avance, subcontratos y pagos. En forma paralela a la interacción directa con el modelo de producto, se conecta una base de datos externa que contiene la información de contratos con el modelo de producto que está en la nube. Tal y como fue discutido en la revisión de literatura, la figura destaca el rol de la interoperabilidad entre la información que está en el modelo de producto y la base de datos externa con información de los contratos. Esta interoperabilidad se

discutirá más adelante en términos de la relación entre la estructura de información del modelo de producto (en su modelo estándar IFC) y los parámetros identificados como relevantes para la gestión de los estados de pagos (Tabla 3.1).

El prototipo computacional desarrollado permitió testear y validar este método. Este prototipo utilizó softwares comerciales que permiten albergar los campos propuestos en el modelo de datos de gestión de pagos, trabajar en la nube, usar dispositivo móviles, y además que estuvieran disponibles para los investigadores. En la Figura 3.4 se puede ver en qué fase del proceso intervino cada software y el flujo de trabajo utilizado.

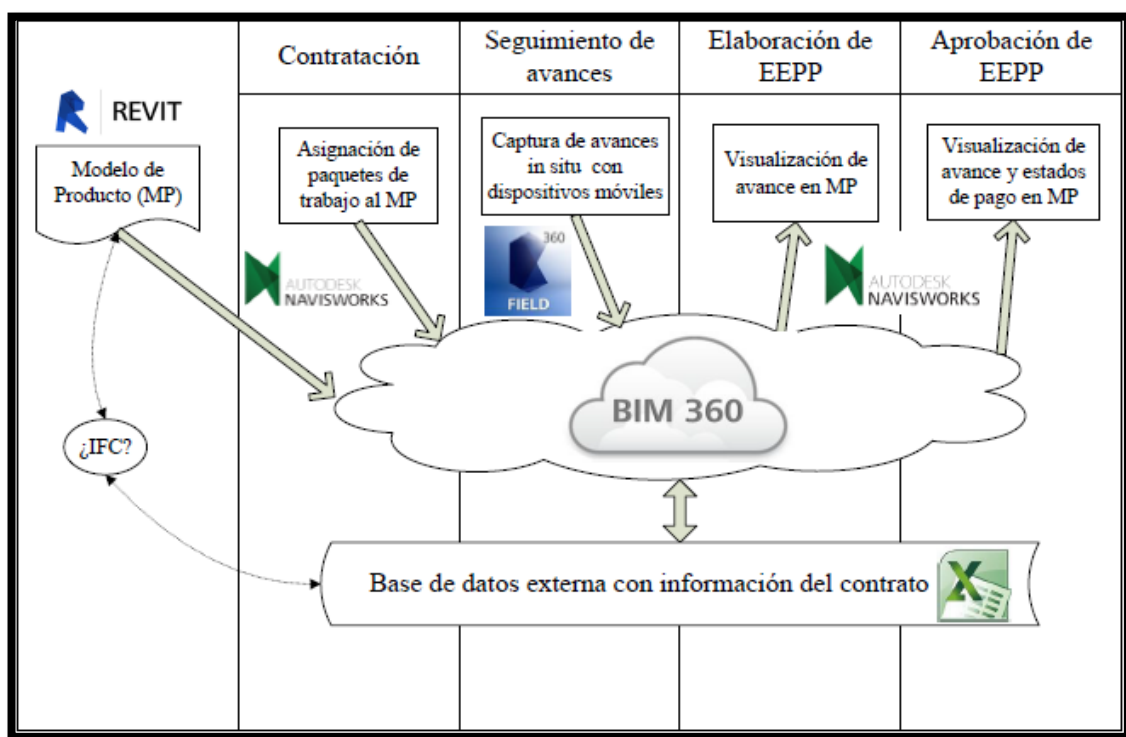


Figura 3.4. Prototipo de Proceso de Estado de Pago a Subcontratistas con apoyo de BIM

Para la modelación BIM se utilizó Autodesk Revit® y como nube de datos se usó Autodesk BIM 360. Dentro de la plataforma BIM 360, el módulo BIM 360 Field permitió la captura de datos en terreno, la cual se realizó utilizando dispositivos Apple iPad. Autodesk Naviswork® fue usado para la definición de paquetes de trabajo, gestión visual

y conexión con una base de datos externa. La base de datos externa al modelo se cargó en Microsoft Excel, y esta base de datos se vinculó por ODBC a Navisworks®.

Para el prototipado computacional, los parámetros relevantes para la gestión de estados de pagos fueron incluidos en los diversos software usados de acuerdo a lo que muestra la Tabla 3.2. Se utilizaron propiedades existentes de Revit® y Naviswork® enfocados con el único fin de gestionar los contratos asignados a subcontratistas. Estas propiedades originalmente tienen otro fin, pero fueron usadas de esta forma para el objetivo del prototipado y caso de estudio. La base de datos externa se hizo cargo de todas las propiedades que no eran fácilmente asignables a propiedades dentro de las herramientas BIM.

Tabla 3.2. Propiedades No Geométricas usadas en el prototipo computacional.

Parámetros No Geométricos relevantes para la gestión de estados de pago	Revit/Navisworks		BIM 360 Field		Base de datos externa
	Categoría	Propiedad	Categoría	Propiedad	Propiedad
Codigo del elemento	Id del Elemento	Valor	BIM 360	BIM Object ID	Codigo
Tipo de elemento	Componente	Nombre/Tipo	BIM 360	Name	Nombre
Zona de trabajo	Componente	Comentario	BIM 360	Description	Descripción
Subcontrato/Paquete de trabajo	Fase de creación	Nombre	BIM 360	Asset Identifier	Subcontratista
Tipo de contrato	-	-	-	-	Tipo de contrato
Fecha de estado de pago	-	-	-	-	Fecha de pago
Precio unitario del contrato	-	-	-	-	Precio
Unidad de pago	-	-	-	-	Unidad de medida
Estado de avance	-	-	BIM 360	Status	Estado
Estado de pago	-	-	-	-	Estado Final
Numero de estado de pago	-	-	-	-	EstadoDePago
Porcentaje pagado	-	-	-	-	PorcentajePago

Como se puede ver en la Figura 3.4, el prototipo computacional utilizó diversos propiedades existentes en las herramientas usadas para lograr la funcionalidad propuesta. Sin embargo, y en beneficio de la interoperabilidad del método BIM propuesto, la Tabla 3.3 resume el análisis de la relación de las estructuras de información de los modelos IFC y el modelo de datos subyacente al método BIM propuesto, es decir los parámetros relevantes para la gestión de pagos de subcontratos. Esta tabla indica si los parámetros propuestos existen dentro del modelo IFC y en el caso en que no existan, propone si debieran incluirse o manejarse en forma independiente (a través de una base de datos externa). Es común en diversos usos BIM (e.g., facility management) que no todas las

propiedades necesarias para ese uso se manejen dentro del modelo. Las propiedades que sí son parte del modelo IFC, y son usadas para un uso específico, conforman un Model View Definition (MVD) el cual es un extracto del modelo IFC (IFC Solutions Factory, 2017; G. Lee, Park, & Ham, 2013). Las propiedades de la Tabla 3.3 que actualmente existen en IFC y las sugeridas a incluir forman parte de un Model View Definition (MVD) para poder realizar una gestión de pagos a subcontratistas. El criterio usado en esta investigación para proponer o no incluir una nueva propiedad actualmente no existente en IFC es la pertenencia directa con los componentes del modelo de producto. Es decir, si una propiedad está directamente asociada a un objeto del modelo, debiera ser parte del IFC pero si la propiedad está asociada más bien a otro tipo de elemento (por ej., un contrato o un estado de pago), se sugiere que debe manejarse en forma externa (pero vinculada) al modelo.

Tabla 3.3. Propiedades no Geométricas e IFC

Parámetros No Geométricos relevantes para la gestión de estados de pago	IFC		
	Elemento IFC	Propuesta IFC	Value Type
Código del elemento	ifcGUID	n/a	ifcGUID
Tipo de elemento	ifcTypeProduct	n/a	IfcLabel
Zona de trabajo	ifcZone	n/a	IfcText
Subcontrato/Paquete de trabajo	No existe	Incluir en IFC	IfcSubContractResourceType
Tipo de contrato	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Fecha de estado de pago	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Precio unitario del contrato	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Unidad de pago	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Estado de avance	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Estado de pago	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Número de estado de pago	No existe	Manejar en BD externa	n/a
Porcentaje pagado	No existe	Manejar en BD externa	n/a

3.6.3 Validación de eficacia del método propuesto

Antes de utilizar el método BIM propuesto en un caso de estudio para evaluar sus impactos, los investigadores validaron la eficacia del método para representar los estados de pagos típicamente realizados por las empresas. Esta validación consistió en generar simulaciones de estados de pagos que luego fueron presentadas a profesionales expertos de empresas y, a través de entrevistas semi-estructuradas, se levantaron las bondades, limitaciones y desafíos del método propuesto.

Todos los profesionales declararon que el método les permitía recrear sus procesos de generación y aprobación de estados de pago. Los entrevistados expusieron que, con algunas modificaciones, el modelo permitiría realizar el proceso que normalmente ejecutan en sus proyectos y en todo caso la forma de seguimiento sería fácilmente adaptable al método propuesto. Además, los entrevistados declararon que con el método BIM, la cantidad de información disponible es mucho mayor a la provista por los métodos tradicionales.

El mayor desafío percibido por los encuestados fue la actualización del modelo BIM en forma constante para que sirva como apoyo para el pago de partidas de obras, sobre todo de aquellas partidas que sufren muchos cambios y se realizan de manera más artesanal o menos prefabricadas, como trabajos de albañilería y terminaciones. Por otro lado, como limitación principal se indica el alcance de la modelación, ya que los modelos BIM típicamente no incluyen muchos componentes que son parte de los subcontratos, por ej. barras de acero, cañerías de diámetro menor, accesorios de instalaciones, etc. En este sentido, es importante notar que el método BIM propuesto no limita a que la base de datos externa (planilla de cálculo en este caso) incluya partidas que no están siendo manejadas con el modelo BIM y que pueden seguir siendo manejadas en forma tradicional.

3.6.4 Evaluación del impacto

El caso de estudio incluyó los subcontratos de estructuras de madera y metal de un complejo deportivo ubicado en la ciudad de Santiago de Chile. La empresa contratista gestiona sus proyectos basados en la filosofía Lean y utiliza la gestión visual a través de BIM en varios de sus procesos. El proyecto estaba modelado en su mayoría y sólo se necesitaron adaptaciones para el proceso de prueba. Uno de los investigadores participó activamente en la obra durante 4 meses.

Las estructuras de madera laminada fueron asignadas a la empresa ML bajo un régimen de contrato a suma alzada y el trabajo se desarrolló sin inconvenientes de principio a fin. Las estructuras metálicas fueron adjudicadas inicialmente a la empresa EM-A bajo el

régimen de suma alzada. Esta empresa no pudo cumplir con el ritmo de obra por lo que su contrato fue reducido. Las empresas EM-B y EM-C se adjudicaron el alcance que fue retirado del contrato de EM-A. Adicionalmente, EM-C se hizo cargo del alcance que originalmente mantuvo EM-A cuando esta última abandonó la obra sin previo aviso.

A continuación, discutiremos los resultados del caso de estudio en función de los subprocesos de la gestión de estados de pago. Los indicadores usados para evaluar el impacto del método BIM propuesto son distintos para cada subproceso.

- Contratación: errores en las cubicaciones usadas para definir el alcance de los contratos, precisión de los métodos usados en esas cubicaciones, y tiempo usado para generar nuevos contratos.
- Seguimiento de avance: productividad de la toma de datos en terreno usados para el cálculo de avance.
- Elaboración y aprobación de estados de pago: errores en las cubicaciones usadas para la elaboración de los estados de pago.

Adicionalmente, se utilizaron entrevistas para capturar impactos cualitativos dentro del proceso.

3.6.5 Contratación

Dadas las dificultades que tuvo el contrato de estructura metálica, la obra realizó tres procesos de cubicaciones: la cubicación inicial de propuestas, una cubicación posterior más detallada para la cual se contrató a un cubicador externo, y una tercera cubicación de toda la estructura debido a los cambios en el proyecto. Si bien la recolección de datos no permitió tener un valor de tiempo invertido en estas reiteradas cubicaciones, es claro que el método BIM reducirá dramáticamente el tiempo necesario.

El contrato de estructuras de madera se contrató antes del inicio de este estudio por lo que no se incluye en este análisis. Para el caso de la estructura metálica, la Tabla 3.4 muestra los errores cometidos en la cubicación usada para la contratación. Esta cubicación fue realizada en forma tradicional, es decir identificando y midiendo los elementos directamente en los planos y haciendo los cálculos en una planilla. La tabla muestra errores de omisión (elementos que no fueron cubitados), de doble cubicación (elementos que se

consideraron en forma repetida en más de una zona), de medida (errores en la longitud de los elementos), y de peso (errores en el peso unitario de los perfiles). En los dos últimos tipos de errores, se indica además el numero de errores que suman (+) y que restan (-) para evaluar si se produce compensación de errores, lo cual claramente no sucede en este caso.

Tabla 3.4. Errores en la cubicación previa a la creación de contratos de estructuras metálicas

Zona	Olvido/Omisión		Doble cubicación		Error de medida				Error en el peso			
	Numero	Peso	Numero	Peso	Numero	Peso	(+)	(-)	Numero	Peso	(+)	(-)
1	92	914	2	264,9	13	5947,9	13	0	384	202,2	384	0
2	24	609,9	3	435,0	11	137,7	11	0	250	82,8	250	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	36	216	0	0,0	7	99,6	0	0	0	0	0	0
5	3	92,4	1	70,4	3	36,5	1	2	0	0	0	0
6	0	0,0	3	383,8	2	29,3	1	1	0	0	0	0
7	2	254,1	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0
Sub totales	157	2086,4	9	1154,1	36	6251	26	3	634	284,9	634	0
Error Grosero					8	5538						
Totales	157	2086,4	9	1154,1	28	713,0			634	284,9		

La suma total de errores (en valor absoluto) cuantificados en la Tabla 3.4 representan el 20% de la cubicación total sin errores. Con respecto a la precisión de los métodos de cubicación, la cubicación tradicional arrojó un total de 50.235 Kg mientras que el método BIM arrojó 49.794 y 48.481 Kg considerando la longitud analítica (longitud total en Revit) y la real (longitud de corte en Revit) respectivamente para los elementos horizontales (la cubicación incluye también las columnas). El cálculo de peso en BIM se hizo usando las longitudes en vez de usar directamente el peso para eliminar el impacto del error previo que traían las cubicaciones tradicionales al utilizar pesos unitarios incorrectos (Tabla 3.4). Estas cubicaciones implican diferencias de 0,88% y 3,62% - respectivamente – con respecto a la cubicación tradicional. Claramente la cubicación tradicional se acerca bastante a la cubicación de largo total, la cual generalmente es hecha entre ejes de columnas y no considera la dimensión real de los elementos horizontales. Es decir, típicamente en la práctica se cobra adicional por material no realmente usado, en este caso, esta diferencia es del orden del 3%.

La última evaluación de impacto relacionada al proceso de contratación se refiere a los tiempos de generación de los nuevos contratos de la estructura metálica. El método

tradicional consistió en la revisión de los planos, separación de cubicaciones por subcontratista y creación de una planilla de control para asignar el subcontrato, todo lo cual demoró 10 horas y 24 minutos en un total de 4 días de trabajo. El método BIM consistió en separar a los subcontratistas en el modelo, exportarlos a la nube por separado y crear la planilla de control para asignar el subcontrato totalizando 2 horas y 8 minutos de trabajo, representando un importante ahorro de tiempo (4,9 veces menor usando BIM).

3.6.6 Seguimiento de avance en terreno

El seguimiento de avance en terreno usando el método tradicional consistió en realizar recorridos de obra con planos impresos e ir pintando el avance de la obra en los mismos. El método BIM consistió en recorrer la obra con el dispositivo móvil (i.e., Ipad) e ir actualizando la propiedad “estado de avance” de los elementos de cada subcontrato en el modelo B3F. Para que ambos métodos sean comparables, en ambos casos se hizo el mismo recorrido y se incluyeron los mismos elementos a medir. Además, las anotaciones y captura de datos se realizaron a medida que se hacía el recorrido, en vez de hacerlo al final de éste donde se pueden introducir errores. Estas reglas de medición hicieron que de un total de 45 recorridos de toma de datos (para cada método de seguimiento), se utilizaron sólo 20 cuyos resultados se indican en la Figura 3.5.

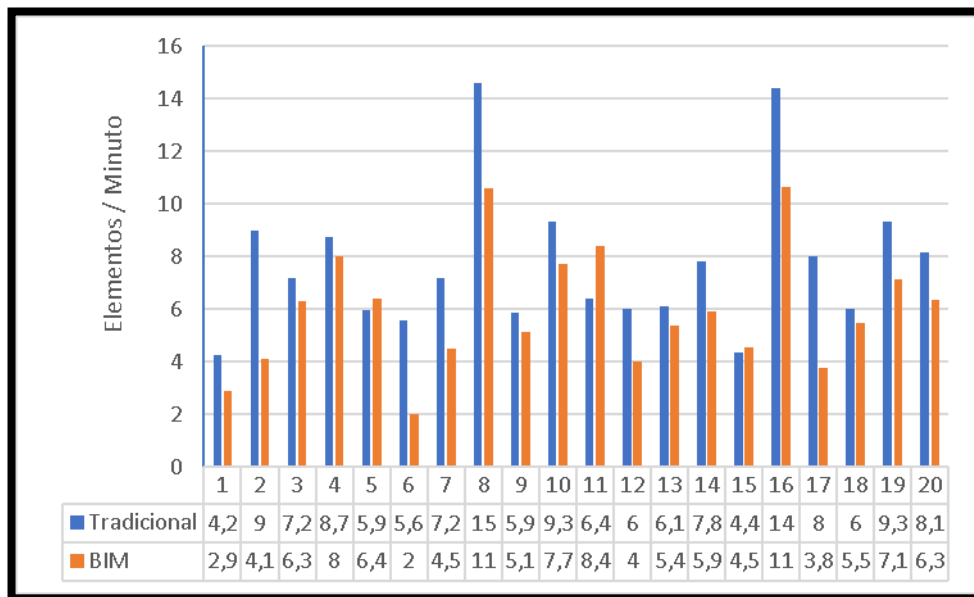


Figura 3.5. Productividad de medición (en elementos medidos por minuto) para cada método

La prueba K-S (Kolmogórov-Smirnov), determinó que la muestra es normal y la prueba T para diferencia de medias relacionadas indicó que existen diferencias significativas entre los métodos de comparación. Del total de la muestra, el método BIM es un 23% menos productivo en la toma de datos en terreno que la opción de planos pintados y esto se debe a que B3F no permite marcar varios elementos al mismo tiempo para modificar su estado ni tampoco permite hacer filtros en el modelo 3D para agilizar la toma de datos. Sin embargo, la información obtenida por el método BIM se sincroniza automáticamente con el modelo BIM que está en la nube mientras que el método tradicional requiere un proceso de cubicación de los elementos pintados para representarlos en una planilla de producción de la obra. Esta planilla de producción además no discrimina el avance por subcontratista y por ende no sirve para generar estados de pago como si lo hace la base de datos BIM. Respecto a este postproceso, el tiempo en promedio de la interpretación de planos y generación de la planilla de producción fue de 45 minutos aproximadamente dependiendo de la agilidad de la persona que lo procese versus no más de 10 minutos que

tomó sincronizar los datos del modelo BIM (en la nube) con la base de datos de avance de la obra. Eventualmente, esta sincronización puede ser automatizada.

Por otro lado, la cantidad de planos impresos necesarios para realizar el seguimiento en terreno fue de 48 impresiones en tamaños A3 y A4. Cada vez que cambió la persona que realizaba este proceso, la nueva persona volvió a imprimir todos los planos porque era más fácil empezar de nuevo que entender lo pintado por el antecesor.

3.6.7 Elaboración y Aprobación de Estados de pago

Los estados de pagos no siempre representan exactamente el avance o producción del periodo ya que a veces son usados como instrumento de negociación entre el contratista general y el subcontratista (Osorio, 2017). Este fue el caso del proyecto en estudio, en donde la administración de la obra (actor que luego tenía que aprobar los estados de pago) participaba directamente del proceso de negociación que alimentaba la elaboración del estado de pago. Esto llevaba a que el proceso de aprobación fuera casi directo. Por esta razón, esta investigación se centró en comparar el tiempo de elaboración del estado de pago y las cubicaciones usadas para respaldar el pago negociado entre las partes. Es decir, se comparó la cubicación realizada por el subcontratista para respaldar su estado de pago, la cual no necesariamente representaba el avance real, con la cubicación hecha a través del método BIM para el mismo alcance negociado. La elaboración de estados de pago por el método tradicional consistió en consultar planos y asignar avances a la planilla de control para totalizar un monto a pagar. El método BIM consistió en asignar pagos a los elementos previamente negociados y generar un resumen con respaldo gráfico para la gestión visual en el momento de aprobación del mismo. Las siguientes figuras ejemplifican el método BIM, en el momento de elaboración del estado de pago (Figura 3.6) donde a través del filtro de colores (Rojo: Sin iniciar, Amarillo: En proceso y Verde: Terminado) y transparencias (Color entero representa elementos pagados y color transparente elementos no pagados) se pueden diferenciar elementos en función de su

avance y pago y el informe gráfico resultante que acompaña la documentación del estado de pago (Figura 3.7).

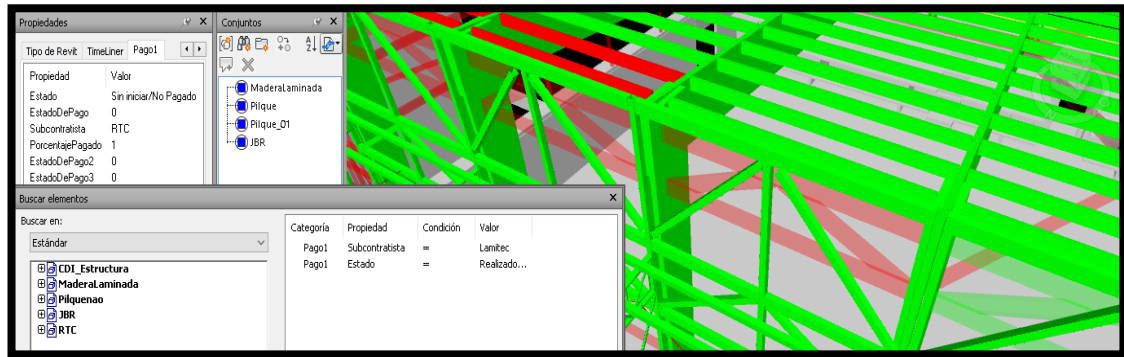


Figura 3.6. Gestión Visual aportada por Navisworks® enriquecida con una base de datos externa

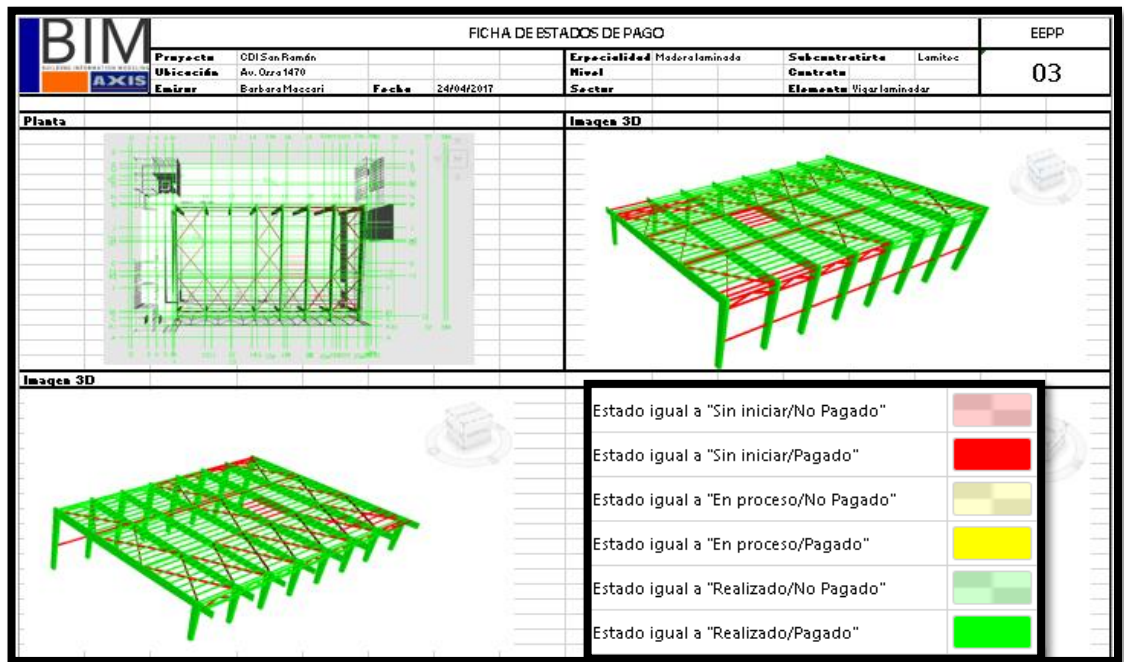


Figura 3.7. Respaldo gráfico de un estado de pago realizado por el método BIM.

Respecto al tiempo de elaboración de los estados, en promedio, el proceso BIM resultó ser 2,5 veces más rápido que el método tradicional. En cuanto a los errores de cubicación, éstos no fueron importantes para el subcontrato de madera laminada ya que éste se controló por avance porcentual respecto al total de sumaalzada. El caso de estructura metálica si presentó importantes errores y al ser controlados en forma unitaria (por Kg.) tuvo impactos considerables en los flujos de caja. Como se explicó anteriormente, EM-A abandonó la obra y los subcontratistas EM-B y EM-C empezaron a trabajar en las zonas no terminadas. La Tabla 3.5 muestra las cubicaciones usadas para los sucesivos estados de pago de EM-B (fila de Método tradicional) y las cubicaciones realizadas con el método BIM. La sumatoria de errores indican casi un 10% en pagos que no corresponden. La tabla también muestra los errores clasificados por los siguientes tipos:

- Doble pago: el alcance considerado para el pago también fue considerado para el pago de otro subcontratista (3% del contrato).
- Error en peso: el subcontratista usó pesos unitarios errados (1% del contrato).
- Error en medida: el subcontratista consideró medidas que no correspondían (5% del contrato).

Tabla 3.5. Resumen de estado de pagos y diferencias entre método Tradicional y método BIM

Descripción		Estado de Pago N°				
		1	2	3	4	5
Método	Metodo Tradicional (kg)	2785,1	9190,6	1062,0	3263,3	1080,8
	Metodo BIM (kg)	2254,0	8568,3	1016,5	2996,1	1016,5
Diferencia		531,1	622,3	45,5	267,2	64,3
Tipo de error	Doble Pago	358,4		143,376	0	0
	Peso diferente de elementos	15,4	181,8	-28,4	52,3	2,54
	Errores de medidas	157,3	440,5	-69,5	214,9	61,8

La Figura 3.8 ilustra un ejemplo del traslape que alcances entre subcontratistas que generó doble pago. En esta figura, el color azul muestra los elementos realizados por EM-A que posteriormente se volvió a pagar a EM-B.

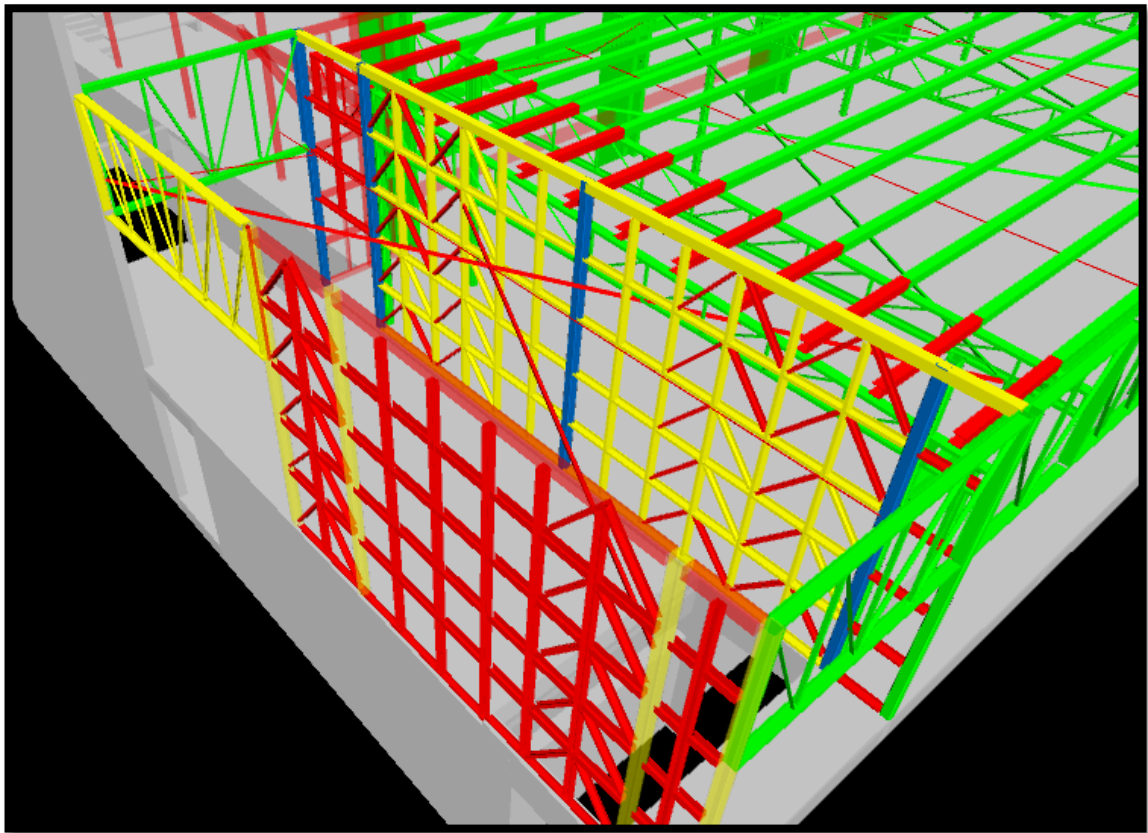


Figura 3.8. Gestión visual propuesta por el método BIM con colores según estado de avance y pago

Adicionalmente a los resultados presentados, una consecuencia relevante del error de cubicación inicial usado para la contratación del subcontratista EM-A (mostrado en la Tabla 3.4) fue la negociación errada de su salida de la obra. El primer estado de pago de este contratista se hizo por una producción adelantada de 20.000 kg y cuando abandonó, la administración pensó que el pago hecho era consistente con lo ejecutado. Sin embargo, esta presunción se basó en un error grosero de aproximadamente 5.000 Kg, lo cual significó una pérdida no identificada al momento de su partida.

3.6.8 Evaluación cualitativa del método BIM propuesto

Adicionalmente a las evaluaciones cuantitativas descritas en las secciones anteriores, entrevistas a los actores que intervinieron en el caso de estudio entregaron una visión cualitativa del impacto del uso de BIM en los procesos de estados de pago. La Figura 3.9 resume los resultados de estas entrevistas a través de una matriz que intercepta las áreas de impacto en función de características de los EEPP (filas) con los subprocesos de la gestión de estado de pagos (columnas) para mostrar que método (BIM o tradicional) tiene un mayor impacto positivo en cada subproceso.

	Selección de paquetes de trabajo y asignación Cubicación Seguimiento de avance en terreno Cuantificación de cantidades y control de producción Elaboración de EEPP Aprobación de EEPP					
Tiempo del proceso	BIM	BIM	Trad.	BIM	BIM	BIM
Confianza en los datos	BIM	BIM	N/A	BIM	BIM	BIM
Simplificación del proceso	BIM	BIM	Trad.	BIM	BIM	BIM
Transparencia del proceso	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM
Trazabilidad del proceso	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM
Gestión visual en el proceso	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM
Relacion alcance del contrato vs elementos físicos	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM	BIM

Figura 3.9. Matriz de impactos cualitativos al usar método BIM o tradicional en la gestión de estados de pago.

Entre las ventajas del método propuesto, se valora la disminución de tiempo gracias a la automatización de cubicación facilitada por el método BIM. Además, la confianza en los datos aumenta debido a la disminución de errores humanos. La gestión visual que aporta el método BIM es otro punto muy valorado ya que complementa las prácticas Lean de gestión visual ya implementadas por la empresa, facilitando la comprensión de lo que está

ocurriendo en la obra y aportando una herramienta más de negociación con los subcontratistas. Los entrevistados también mencionaron que el método BIM permite mayor transparencia y ayuda a la trazabilidad del proceso sin tener que recurrir la capacidad de visualizar mentalmente el avance, evaluaciones subjetivas y consultas a otros profesionales de terreno, lo que implica una alta probabilidad de error humano.

Respecto a los potenciales desafíos para utilizar el método BIM propuesto, los entrevistados mencionaron los posibles costos y la resistencia a los cambios tecnológicos, pero por sobre todo mencionaron el esfuerzo necesario para adaptar el modelo BIM que había sido hecho para coordinación de especialidades. Al mismo tiempo, los entrevistados declararon que el sistema les resultó amigable, sencillo y fácil de utilizar ya que se trataba de interfaces ya conocidas y que normalmente se destinan para otros usos.

Por último, los entrevistados valoraron mucho el impacto de la metodología BIM en la situación de reasignación de paquetes de trabajo a otros subcontratistas como ocurrió en el caso de estudio ya que es una situación extremadamente común en la empresa. Consideraron que el método BIM propuesto se alinea con la política de implementación de modelos BIM dentro de la filosofía Lean propuesta por la empresa. Además, propusieron el uso del método BIM para auditorías de estados de pago, controles de calidad de los mismos e inclusive la generación de animaciones 4D (de cómo se realizó el pago y cómo avanzó el trabajo) de partidas críticas subcontratadas al finalizar la obra como registros para la gestión de conocimiento o evaluación de subcontratistas.

3.7 Conclusiones

Esta investigación conceptualiza la gestión de los pagos a subcontratistas y propone y evalúa una metodología BIM para apoyar este proceso. Las principales contribuciones del estudio son la identificación del modelo de datos básico necesario para una metodología BIM que apoye la gestión de pagos de subcontratos, la definición de la metodología BIM, y la evidencia de los impactos generados en un caso de estudio.

El modelo de datos identificado en la Tabla 3.2 se enfoca en las propiedades no geométricas necesarias para identificar el alcance de los distintos subcontratos, hacer seguimiento a su avance, la generación de estados de pagos asociados, y el seguimiento de los respectivos pagos. Estas propiedades están directamente vinculadas con el uso BIM definido (proceso de gestión de pago) por lo que, si se incluyera otros procesos dentro de este uso, por ejemplo, proyecciones de pagos o seguimiento a pagos rechazados, el modelo de datos podría incorporar más propiedades. La Tabla 3.3 discute la relación de este modelo de datos con el modelo de datos IFC (versión 4 Add2). Es importante notar que no todas las propiedades que no existen actualmente en IFC son sugeridas como una adición al estándar. Como pasa en varios usos BIM, algunas propiedades es más conveniente manejarlas fuera del modelo BIM pero vinculadas con él. El modelo de datos identificado es relevante para futuras investigaciones que quieran extender el alcance de este trabajo y también para la industria que quiere desarrollar aplicaciones o implementar este uso BIM en sus proyectos.

El método BIM propuesto para apoyar la gestión de pagos de subcontratos se basa en un modelo BIM en la nube integrado con una base de datos externa que provee aquellos parámetros fuera del MVD asociado a este uso BIM. El seguimiento se hace modificando este modelo en la nube a través de dispositivos móviles. Es importante proveer una interfaz fuera del entorno del modelo BIM para que usuarios no familiarizados con este entorno puedan ingresar y editar información propia de sus disciplinas, en este caso típicamente información de contratos y pagos.

Respecto al uso del método BIM propuesto, sus impactos y desafíos, se puede concluir lo siguiente:

- El potencial de impacto del método BIM es importante en todos los subprocesos de estados de pago y puede reducir pagos mal hechos hasta en un 10%, sin embargo, en el subproceso de contratación se indica como el de mayor impacto debido a ser la fase inicial, ya que la disminución de errores en la definición del alcance (hasta un 20%) y de las características físicas (peso, densidad, etc.) de los elementos evitarían problemas en los demás subprocesos aguas abajo.

- El método tradicional resultó ser más productivo en el seguimiento de avances en terreno que el método BIM propuesto (23% menos). Esto se debió a que la plataforma usada en el caso de estudio (B3F) aún no contiene características de filtrado y selección en terreno. Sin embargo, el seguimiento de avance realizado con el método BIM permite directamente relacionar el avance con los contratos facilitando la posterior elaboración de los estados de pagos en donde el método puede ser hasta 5 veces más rápido.
- La gestión visual aportada por el método BIM permitió mayor transparencia y trazabilidad del proceso, reduciendo la necesidad de interpretaciones subjetivas o consultas a otros profesionales de terreno para el momento de elaborar y aprobar los pagos. En este sentido, uno de los principales beneficios del método BIM propuesto está alineado con la estrategia Lean de gestión visual, entregando una vez más evidencia de las sinergias entre las metodologías BIM y la filosofía de construcción Lean.
- El método BIM permite estandarizar un proceso que generalmente depende mucho del equipo de proyecto que esté en la obra.
- Los desafíos percibidos por los actores relevantes para usar la metodología BIM para la gestión de pago están relacionados con la resistencia al cambio y el desconocimiento de la metodología. Las entrevistas mostraron la percepción de una alta necesidad de modificar los modelos BIM existentes, sin embargo, esto se debió más a la necesidad de corregir errores en los modelos (falta de procesos de aseguramiento de calidad en los procesos BIM existentes) que a los cambios necesarios para el método BIM propuesto.
- Un desafío encontrado en el caso de estudio tiene que ver con el alcance del modelo BIM con respecto a las partidas subcontratadas. Los elementos no modelados no pueden ser contabilizados ni visualizados a través del método BIM. Sin embargo, al contar con una base de datos externa conectada con el modelo, estas partidas aún pueden ser manejadas en forma tradicional.

El estudio presentado se limitó a obras de edificación y a un cierto número de partidas y tipos de contratos. Se plantea como trabajo futuro la extensión de esta metodología para considerar potenciales particularidades de otro tipo de obras, partidas y contratos.

4. CONCLUSIONES

En primer lugar, es importante destacar que este trabajo de investigación logró contribuir al estudio de las oportunidades y desafíos en el uso de BIM para apoyar el seguimiento y pago de subcontratos de obras, a través de la publicación de dos artículos científicos que responden a los objetivos de la investigación. Se considera relevante mencionar que cada artículo posee sus propias conclusiones, en un formato específico y con un nivel mayor de detalle.

En segundo lugar, con el objetivo de entender los flujos de información y sus características asociadas a los procesos de estados de pago de subcontratos, esta investigación obtuvo índices que permiten inferir sobre el grado de subcontratación en la industria y sobre el tipo de rubros mayormente subcontratados. Por lo demás, evaluando el desempeño del proceso se indican las reprobaciones de los estados de pago dentro de las empresas y en qué medida esto afecta las relaciones con los subcontratistas, determinando que la falta de tiempo y la presión ejercida entre contratistas y subcontratistas resultaron ser una tendencia en este proceso. Sumado a lo anterior, se observó que una mala gestión de los estados de pago representa una causa atribuible al retraso en los pagos. Por otra parte, se identificaron los actores principales, las relaciones entre los sub procesos y qué herramientas o softwares utilizan en las etapas de seguimiento de avances y elaboración de documentos. También, se indica cómo se estructuran normalmente los paquetes de trabajo y el nivel de complejidad del seguimiento dependiendo del rubro a subcontratar, junto con el bajo nivel de detalle con que se generan los subcontratos y el alto nivel de cambios a medida que realizan el trabajo.

En tercer lugar, con el objetivo de proponer y evaluar una metodología BIM para apoyar la gestión de pagos de subcontratistas, esta investigación permitió conceptualizar el proceso de estados de pago a subcontratistas de obras. Se explicó el funcionamiento de las etapas del proceso y se identificaron los parámetros utilizados para gestionar el pago de subcontratos. Estos parámetros sirvieron para entender la estructura de datos y proponer un esquema de intercambio de información a través de interfaces disponibles y de uso común para otras finalidades. Un método BIM basado en la nube fue propuesto

como repositorio de la información contenida en el proceso y se complementó con una base de datos externa que pueda suplir la falencia de BIM en cuanto a aquellos parámetros que no contiene de forma nativa. Por otro lado, se encontraron limitaciones de BIM el proceso como, por ejemplo, la modelación y representación visual de elementos no modelados. Conjuntamente, se evaluó el impacto del uso de BIM en el proceso del estado de pago mediante un caso de estudio, observando que el mayor impacto se acumula en el uso de BIM para la contratación, ya que el mismo es el inicio del proceso y ayuda a disminuir errores en la medición, en características físicas (peso, densidad, etc), omisiones y en el tiempo dedicado al proceso. Además, el tiempo de trabajo debido a constantes cubicaciones se vio disminuido gracias a la capacidad de BIM de contener los cambios del proyecto y automatizar la obtención de dichas cubicaciones. El uso de BIM en el seguimiento de avances resultó ser el único subproceso en donde la productividad puede considerarse menor que el método tradicional utilizado. De todas formas, se demostró que BIM puede contener la información de avance y relacionar con los contratos de forma a convertirse en un repositorio para la elaboración de pagos de elementos subcontratados. Más aún, la gestión visual aportada por el modelo BIM enriquecido permitió mayor transparencia y trazabilidad del proceso sin tener que recurrir a esquemas mentales, evaluaciones subjetivas o consultas a otros profesionales de terreno para el momento de elaborar y aprobar los pagos. Asimismo, el tiempo del proceso se vio disminuido y se cuantificaron los errores cometidos por el proceso tradicional.

Por otro lado, se infiere que BIM puede aportar al proceso estudiado y constatando la sinergia con la filosofía *Lean Construction*, afirmando su utilidad y complementación. Siempre que se pueda vencer a la resistencia a los cambios tecnológicos y sobre todo contar con los recursos para la modelación necesaria con el objetivo de adaptar un modelo BIM que normalmente tiene otros fines.

Finalmente se propone seguir investigando la forma de utilizar BIM para auditorias de estados de pago, relaciones con el control de costos de la obra e inclusive la generación de animaciones 4D de partidas críticas subcontratadas, como gestión del conocimiento de la empresa.

BIBLIOGRAFIA

Al-Hammad, A. (1993). Factors affecting the relationship between contractors and their sub-contractors in Saudi Arabia. *Building Research & Information*, 21(5), 269–273.
<https://doi.org/10.1080/09613219308727315>

Alshawhi, M., & Ingirige, B. (2003). Web-enabled project management: an emerging paradigm in construction. *Automation in Construction*, 12(4), 349–364.

Arditi, D., & Chotibhongs, R. (2005). Issues in subcontracting practice. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(8), 866–876.

Babič, N. Č., Podbreznik, P., & Rebolj, D. (2010). Integrating resource production and construction using BIM. *Automation in Construction*, 19(5), 539–543.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.005>

Beardsworth, A. D., Keil, E. T., Bresnen, M., & Bryman, A. (1988). MANAGEMENT, TRANSIENCE AND SUBCONTRACTING: THE CASE OF THE CONSTRUCTION SITE. *Journal of Management Studies*, 25(6), 603–625. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.1988.tb00049.x>

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2011). Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 431–442.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)

Brandli, L. L., & others. (1998). *A estratégia de subcontratação e as relações organizacionais na construção civil de Florianópolis*. Florianópolis, SC.

Bresnen, M., & Fowler, C. (1994). The organizational correlates and consequences of subcontracting: Evidence from a survey of South Wales businesses. *Journal of Management Studies*, 31(6), 847–864.

Bresnen, M. J., Wray, K., Bryman, A., Beardsworth, A. D., Ford, J. R., & Keil, E. T. (1985). The Flexibility of Recruitment in the Construction Industry: Formalisation or Re-Casualisation? *Sociology*, 19(1), 108–124.

<https://doi.org/10.1177/0038038585019001009>

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>

Cao, D., Wang, G., Li, H., Skitmore, M., Huang, T., & Zhang, W. (2015). Practices and effectiveness of building information modelling in construction projects in China. *Automation in Construction*, 49, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.014>

Casto, R. L. (2000). Construction tracking and payment method and system. Google Patents. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US6038547>

CDT, CChC, AOA, MOP, D. de A., & Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2016). Itemizado Estándar de Especificaciones Técnicas de Proyectos de Edificación. Retrieved June 30, 2017, from <http://www.especificar.cl/>

Chan, D. W. M., & Kumaraswamy, M. M. (1997). A comparative study of causes of time overruns in Hong Kong construction projects. *International Journal of Project Management*, 15(1), 55–63.

Costantino, N., Pietroforte, R., & Hamill, P. (2001). Subcontracting in commercial and residential construction: an empirical investigation. *Construction Management & Economics*, 19(4), 439–447.

Dave, B., Boddy, S. C., & Koskela, L. J. (2010). Improving information flow within the production management system with web services. In *Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 445–455).

Davies, R., & Harty, C. (2013). Implementing “Site BIM”: A case study of ICT

innovation on a large hospital project. *Automation in Construction*, 30, 15–24.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.024>

Eccles, R. G. (1981). The quasifirm in the construction industry. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2(4), 335–357.

El-Omari, S., & Moselhi, O. (2008). Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work. *Automation in Construction*, 18(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.006>

Elazouni, A. M., & Metwally, F. G. (2000). D-SUB: Decision support system for subcontracting construction works. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(3), 191–200.

Eom, C. S., Yun, S. H., & Paek, J. H. (2008). Subcontractor evaluation and management framework for strategic partnering. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(11), 842–851.

Getuli, V., Ventura, S. M., Capone, P., & Ciribini, A. L. C. (2016). A BIM-based Construction Supply Chain Framework for Monitoring Progress and Coordination of Site Activities. *Procedia Engineering*, 164, 542–549.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.656>

Goldfayl, G. (2004). *Construction Contract Administration (2nd Edition)* - Knovel.

Retrieved from

[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpCCAE0001/viewerType:toc/root_slug:construction-contract/url_slug:kt00U19LY6?b-q=Construction contract&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpCCAE0001/viewerType:toc/root_slug:construction-contract/url_slug:kt00U19LY6?b-q=Construction%20contract&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default)

Haugan, G. T. (2002). *Effective work breakdown structures*. Management Concepts Inc.

Hinze, J., & Tracey, A. (1994a). The contractor-subcontractor relationship: the

subcontractor's view. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(2), 274–287.

Hinze, J., & Tracey, A. (1994b). The Contractor-Subcontractor Relationship: The Subcontractor's View. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(2), 274–287. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1994\)120:2\(274\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1994)120:2(274))

Hogan, M. (2015). A Case Study for Improving Construction Project Management.

Hsieh, T.-Y. (1998). Impact of subcontracting on site productivity: lessons learned in Taiwan. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(2), 91–100.

Hwang, S., & Liu, L. (2010). BIM for Integration of Automated Real-Time Project Control Systems. In *Construction Research Congress 2010* (pp. 509–517). American Society of Civil Engineers. [https://doi.org/doi:10.1061/41109\(373\)51](https://doi.org/doi:10.1061/41109(373)51)

Ibarra, J. F. (2016). *Integração de modelos de processo e produto na fase de construção para o controle da produção e da qualidade com o apoio de BIM*.

Ibrahim, Y. M., Kaka, A. P., Trucco, E., Kagioglou, M., & Ghassan, A. (2007). Semi-automatic development of the work breakdown structure (WBS) for construction projects. In *Proceedings of the 4th International SCRI Research Symposium, Salford, UK*.

Ibrahim, Y. M., Lukins, T. C., Kaka, A., & Trucco, E. (2007). A conceptual progress measurement framework for automatic work-packaging and assessment with computer vision. In *Proceedings of the 24th W78 conference and 14th EG-ICE workshop and 5th ITC@ EDU workshop, Maribor, Slovenia, June* (pp. 367–372).

IFC Solutions Factory. (2017). Information Delivery Manual (IDM) and Model View Definition (MVD) for Design to Energy Performance Analysis (Reference BSA-002) and Concept Design BIM 2010 (Reference “Design to Design Analysis” GSA -005):

Jardim-Goncalves, R., & Grilo, A. (2010). Building information modeling and

interoperability. *Automation in Construction*.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.008>

Jeong, Y.-S., Eastman, C. M., Sacks, R., & Kaner, I. (2009). Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete. *Automation in Construction*, 18(4), 469–484.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.11.001>

Jin, X., Zhang, G., Xia, B., & Feng, Y. (2013). Relationship between head contractors and subcontractors in the construction industry: a critical review.

Juan, D. (2013). The research to open BIM-based building information interoperability framework. In *Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA), 2013 2nd International Symposium on* (pp. 440–443).

<https://doi.org/10.1109/IMSNA.2013.6743310>

Jung, Y., & Kang, S. (2007). Knowledge-based standard progress measurement for integrated cost and schedule performance control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(1), 10–21.

Kaka, A. P., Ibrahim, Y., Lukins, T., & Trucco, E. (2007). The development of an automated progress measurement system for construction work packages. In *Proceedings of 3rd International ASCAAD Conference on Embodying Virtual Architecture (ASCAAD-07, Alexandria, Egypt)* (pp. 81–86).

Kale, S., & Arditi, D. (2001). General contractors' relationships with subcontractors: a strategic asset. *Construction Management and Economics*, 19(5), 541–549.

Kang, L. S., & Paulson, B. C. (1997). Adaptability of information classification systems for civil works. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(4), 419–426.

Kitchens, M. (2006). The Paperwork. In *Estimating and Project Management for Building Contractors* (pp. 100–162).

- Lee, G., Park, Y. H., & Ham, S. (2013). Extended Process to Product Modeling (xPPM) for integrated and seamless IDM and MVD development. *Advanced Engineering Informatics*, 27(4), 636–651.
- Lee, J., Smith, J., & Kang, J. (2011). The role of IFC for sustainable BIM data management. *Department of Construction Science: Texas A&M University, Texas, USA*.
- Lester, A. (2007). *Project Management - Planning and Control (5th Edition)*. Elsevier. Retrieved from <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPMPCE008/project-management-planning/project-management-planning>
- Love, P. E. D., Holt, G. D., & Li, H. (2002). Triangulation in construction management research*. *Engineering Construction and Architectural Management*, 9(4), 294–303. <https://doi.org/10.1046/j.1365-232X.2002.00226.x>
- Lu, N., & Korman, T. (2010). Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges. In *Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice* (pp. 1136–1145).
- Manu, P., Ankrah, N., Proverbs, D., & Suresh, S. (2013). Mitigating the health and safety influence of subcontracting in construction: The approach of main contractors. *International Journal of Project Management*, 31(7), 1017–1026. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.11.011>
- Matthews, J. D., Tyler, A., & Thorpe, T. (1996). Subcontracting: the subcontractor's view. *The Organization and Management of Construction: Shaping Theory and Practice*, London, UK: E & FN Spon, 2, 471–480.
- Matthews, J., Love, P. E. D., Heinemann, S., Chandler, R., Rumsey, C., & Olatunj, O. (2015). Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. *Automation in Construction*, 58, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.004>

Mincks, W. R., & Johnston, H. (2010). *Construction jobsite management*. Cengage Learning.

Navon, R., & Sacks, R. (2007). Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). *Automation in Construction*, 16(4), 474–484. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.08.001>

Ng, S. T., & Tang, Z. (2010). Labour-intensive construction sub-contractors: Their critical success factors. *International Journal of Project Management*, 28(7), 732–740. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.11.005>

Ohnuma, D. K., Pereira, S. R., & Cardoso, F. F. (2000). The Role of the Subcontractors in the Competitiveness of Building Companies and the Integration of Value Chains. *CIB REPORT*, 201–218.

Osorio, C. (2017). *Oportunidades y desafíos en el uso de BIM para mejorar el proceso de seguimiento, control y gestión de pagos de obras*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Peña-Mora, F., Golparvar-Fard, M., Aziz, Z., & Roh, S. (2011). Design Coordination and Progress Monitoring during the Construction Phase. In X. Wang & J.-H. Tsai (Eds.), *Collaborative Design in Virtual Environments SE - 8* (Vol. 48, pp. 89–99). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0605-7_8

Poirier, E. A., Staub-French, S., & Forgues, D. (2015). Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research. *Automation in Construction*, 58, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002>

Rebolj, D., Babič, N. Č., Magdič, A., Podbreznik, P., & Pšunder, M. (2008). Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics*, 22(4), 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2008.06.002>

Redmond, A., Hore, A., Alshawih, M., & West, R. (2012). Exploring how information

exchanges can be enhanced through Cloud BIM. *Automation in Construction*, 24, 175–183.

Roh, S., Aziz, Z., & Peña-Mora, F. (2011). An object-based 3D walk-through model for interior construction progress monitoring. *Automation in Construction*, 20(1), 66–75.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.003>

Rumane, A. R. (2010). *Quality management in construction projects*. CRC Press.

Russell, J. S., & Radtke, M. W. (1991). Subcontractor Failure: Case History. *American Association of Cost Engineers. Transactions of the American Association of Cost Engineers*, 6. Retrieved from
<http://ezproxy.puc.cl/docview/208195694?accountid=16788>

Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 19(5), 641–655.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>

Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1307–1315. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000102)

Sattineni, A., & Schmidt, T. (2015). Implementation of Mobile Devices on Jobsites in the Construction Industry. In *Procedia Engineering* (Vol. 123, pp. 488–495).
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.100>

Shiau, Y., & Wang, W. (2003). Daily report module for construction management information system. In *Proc. 20th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction*.

Shing-Tao, C. A., & Ya-Wen, T. (2003). Engineering Information Classification System. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(4), 454–460.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:4\(454\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:4(454))

Sidwell, A. C. (1983). An evaluation of management contracting. *Construction Management and Economics*, 1(1), 47–55. <https://doi.org/10.1080/014461983000000005>

Son, H., Park, Y., Kim, C., & Chou, J.-S. (2012). Toward an understanding of construction professionals' acceptance of mobile computing devices in South Korea: An extension of the technology acceptance model. *Automation in Construction*, 28, 82–90.

Sozen, Z., & Kucuk, M. A. (1999). Secondary subcontracting in the Turkish construction industry. *Construction Management & Economics*, 17(2), 215–220.

Tam, V. W. Y., Shen, L. Y., & Kong, J. S. Y. (2011). Impacts of multi-layer chain subcontracting on project management performance. *International Journal of Project Management*, 29(1), 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.01.005>

Titus, S., & Bröchner, J. (2005). Managing information flow in construction supply chains. *Construction Innovation*, 5(2), 71–82.

Uher, T. E. (1991). Risks in subcontracting: Subcontract conditions. *Construction Management and Economics*, 9(6), 495–508.
<https://doi.org/10.1080/014461991000000038>

Üsdiken, B., Sözen, Z., & Enbiyaoğlu, H. (1988). Strategies and boundaries: subcontracting in construction. *Strategic Management Journal*, 633–637.

Vanlande, R., Nicolle, C., & Cruz, C. (2008). IFC and building lifecycle management. *Automation in Construction*, 18(1), 70–78.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.

Wang, H., Chen, L. K., & Lu, W. (2015). RE-EXAMINING CONTRACTOR'S BIM

STRATEGIES: A Case STUDY. In *Proceedings of the 4th World Symposium 2015*.

Wang, K.-C., Wang, W.-C., Wang, H.-H., Hsu, P.-Y., Wu, W.-H., & Kung, C.-J. (2016). Applying building information modeling to integrate schedule and cost for establishing construction progress curves. *Automation in Construction*, 72, 397–410.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.005>

Wideman, R. M. (1989). Successful project control and execution. *International Journal of Project Management*, 7(2), 109–113. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0263-7863\(89\)90024-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0263-7863(89)90024-0)

Yin, R. K. (2003). *Case study research: Design and methods*. Sage publications.

ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA ENVIADA A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCION

El objetivo de esta encuesta es entender el desempeño de los procesos que involucran los estados de pago de partidas de obras en proyectos de construcción, desde el punto de vista del proyecto y de la empresa constructora (contratista general).

La encuesta es parte de un estudio académico que busca mejorar dichos procesos por lo que se asegura la confidencialidad de las respuestas. Para que los resultados sean representativos es necesario responder con la realidad y no el estado ideal o esperado.

PARTE 1: DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

DATOS DEMOGRÁFICOS

Estos datos serán usados para buscar asociaciones entre los procesos levantados, el perfil del encuestado en general y la empresa en la cual trabaja.

Indique el cargo actual que desempeña en la empresa o el equivalente de las siguientes opciones.

01	Cargo	Administrador de Obra	
		Gerente General	
		Gerente o Jefe de Operaciones	
		Jefe de Obra	
		Jefe de Oficina Técnica	
		Jefe de Terreno	
		Visitador de Obra	
		Otro:	

¿Cuántos años de experiencia posee su empresa en la industria de la construcción?

02	Años	
----	------	--

¿Con cuál de los siguientes montos asocia Usted la facturación de su empresa al año?

03	< US\$1 MM	(< UF 25.000)	
	USD\$1 MM - USD\$4 MM	(UF 25.000 –UF 100.000)	
	USD\$4 MM - USD\$8 MM	(UF 100.000 –UF 200.000)	
	USD\$8 MM - USD\$24 MM	(UF 200.000 –UF 600.000)	
	USD\$24 MM - USD\$40 MM	(UF 600.000 –UF 1.000.000)	
	> US\$40 MM	(> UF 1.000.000)	

¿Cuál es el principal tipo de proyectos que realiza su empresa? Puede seleccionar más de una opción.

04	Edificación Habitacional	
	Edificación no Habitacional (Hospitales, Oficinas, Malls, etc.)	
	Construcción Industrial (Montaje e instalación de plantas, bodegas, etc.)	
	Obras Viales (Carreteras, caminos, etc.)	
	Obras Civiles (Puertos, aeropuertos, puentes, túneles, viaductos, gasoductos, etc.)	
	Obras Mineras (Canales de relave, estanques de decantación, etc.)	
	Otra:	

PARTE 2: PROCESOS A NIVEL OPERACIONAL
FORMA DE ESTRUCTURAR LOS PAQUETES DE TRABAJO

El objetivo de esta parte es identificar prácticas de oficina técnica en general para ordenar o dividir los rubros sub contratados

En las siguientes afirmaciones y juicios, marque con una X las alternativas que mejor representen su forma de pensar y trabajar.

Marque los rubros que normalmente subcontrata su empresa indicando la frecuencia de contratación.

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
01	OBRAS PRELIMINARES (Construcciones provisionales, replanteos, demoliciones, etc.)					
	OBRAS DE HABILITACIÓN DEL TERRENO (Mov. De tierras, muros de contención, rellenos, estabilizaciones, etc.)					
	OBRA GRUESA (Enfierradura, moldajes, colado del hormigón, etc.)					
	TERMINACIONES (Revestimientos, cielos, aberturas, pinturas, aislaciones etc.)					
	INSTALACIONES (Agua potable, alcantarillado, eléctricas, aire acondicionado, etc.)					
	SISTEMAS MECÁNICOS DE TRANSPORTE (Ascensores, montacargas y escaleras mecánicas)					
	OBRAS COMPLEMENTARIAS EN EL TERRENO PROPIO (Cerramientos, paisajismo, muros verdes, etc.)					

	OBRAS DE URBANIZACIÓN (Pavimentos, sistemas de evacuación de aguas, etc.)					
	Otro, Indique cuál:					

Indique con qué frecuencia usa los siguientes criterios para definir el desglose de las partidas que serán subcontratadas

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
02	Por tipo de especialidades.					
	Por ubicación dentro del proyecto. Ejemplo: Un subcontrato para una torre, y otro subcontrato para otra torre.					
	Por orden cronológico en el transcurso del proyecto.					
	Por tamaño o magnitud del trabajo.					
	Por tipo de sub contratación. Ejemplo: Si el contrato Incluye materiales o solo mano de obra requiere dividirlo en distintas partidas.					
	Por la calidad necesaria para ejecutar el trabajo. Ejemplo: Hormigón normal versus Hormigón a la vista.					
	Por tipo de costo (Directo o Indirecto). Ejemplo: En obras por administración es necesario discriminar los costos.					
	Por modificación del alcance del contrato original. (Adicionales, Obras extraordinarias, extras, etc.)					
	Otro, Indique cuál:					

¿Qué porcentaje respecto al costo directo del proyecto es asignado a subcontratos?

03	%	
----	---	--

SEGUIMIENTO DE AVANCE DE PARTIDAS DE OBRA

El objetivo de esta parte es recopilar información acerca de procesos de seguimiento del avance en obra utilizados para la elaboración de estados de pago a subcontratistas o estado general de partidas de obras.

Marque las herramientas utilizadas en su empresa para apoyar el proceso de seguimiento indicando la frecuencia del uso de las mismas.

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
01	Planos o planillas impresas					
	Planos o planillas digitales en un dispositivo móvil					
	Modelos 3D/BIM					
	Dibujos a mano					
	Software especialmente diseñado para eso					
	Otro, Indique cuál:					

La medición de avance de partidas para realizar estados de pago se realiza en forma:

02	Semanal	
	Quincenal	
	Mensual	
	Indicar otro periodo	

Evalúe el nivel de complejidad del proceso de seguimiento de las siguientes partidas:

Complejidad se refiere a lo complicado, diverso y difícil de entender que puede llegar a ser cada proceso.

		Muy Simple	Simple	Normal	Complejo	Muy Complejo
		1	2	3	4	5
03	OBRAS PRELIMINARES (Construcciones provisionales, replanteos, demoliciones, etc.)					
	OBRAS DE HABILITACIÓN DEL TERRENO (Mov. De tierras, muros de contención, rellenos, estabilizaciones, etc.)					
	OBRA GRUESA (Enfierradura, moldajes, colado del hormigón, etc.)					
	TERMINACIONES (Revestimientos, cielos, aberturas, pinturas, aislaciones etc.)					

	INSTALACIONES (Agua potable, alcantarillado, eléctricas, aire acondicionado, etc.)					
	SISTEMAS MECÁNICOS DE TRANSPORTE (Ascensores, montacargas y escaleras mecánicas)					
	OBRAS COMPLEMENTARIAS EN EL TERRENO PROPIO (Cerramientos, paisajismo, muros verdes, etc.)					
	OBRAS DE URBANIZACIÓN (Pavimentos, sistemas de evacuación de aguas, etc.)					
	Otras, Indique cuáles:					

Indique con qué frecuencia se presentan los siguientes inconvenientes en el proceso de seguimiento de avance:

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
04	Falta de tiempo para la ejecución del trabajo.					
	Falta de acceso a zonas para ser medidas.					
	Falta de capacidad de las personas asignadas para el trabajo.					
	Falta de personas o cantidad insuficiente asignada para el trabajo.					
	Falta de instrumentos adecuados para la medición.					
	Presiones del sub contratista.					
	Otro, Indique cuál:					

ELABORACION DE ESTADOS DE PAGO

El objetivo de esta sección es recopilar información del proceso de elaboración de estados de pago a subcontratistas ya una vez que se cuenta con el levantamiento del estado actual o las mediciones de partidas de obra.

Indique que software de gestión utiliza para elaborar estados de pagos

01	Excel	
	ERP (<i>Enterprise Resource Planning</i>)	
	I-construye	
	Software propio	
	Presto	
	Otros, indique cuáles:	

Indique con qué frecuencia se presentan los siguientes inconvenientes en la elaboración de estados de pago:

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
02	Falta de tiempo para la ejecución del trabajo.					
	Falta de claridad de los datos medidos.					
	Falta de capacidad de las personas asignadas para el trabajo.					
	Falta de personas o cantidad insuficiente asignada para el trabajo.					
	Herramientas informáticas complejas					
	Presiones del subcontratista					
	Otro, Indique cuál:					

CONTROL Y APROBACIÓN DE ESTADOS DE PAGO

El objetivo de esta sección es tener una visión desde el punto de vista del control y la aprobación de los estados de pagos realizados en obra.

Indique con qué frecuencia se presentan los siguientes inconvenientes en la aprobación de estados de pago:

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
01	Falta de tiempo para la ejecución del trabajo.					
	Falta de trazabilidad de datos.					
	Falta de confianza en la medición.					
	Falta de antecedentes requeridos.					
	Errores en el alcance (Elementos que no corresponden al subcontrato).					
	Dificultad para relacionar el alcance del estado de pago con los elementos físicos de la obra.					
	Presiones del subcontratista.					
	Otro, Indique cuál:					

¿Qué porcentaje de estados de pago son reprobados por alguno de los inconvenientes citados en la pregunta anterior?

02	%	
----	---	--

Respecto a los estados de pago REPROBADOS en su empresa:

		Indique %
		1
03	Qué porcentaje generan atrasos en el pago final al subcontratista.	
	Qué porcentaje no son pagados.	
	Qué porcentaje se convierten en problemas con el subcontratista como: Pedido de reajustes de precios, abandono de obra, pleitos legales, etc.	

PREGUNTAS SOBRE LOS ESTADOS DE PAGO EN GENERAL

Cuál es la percepción en general de los encuestados en cuanto a los procesos de medir, procesar y aprobar estados de pagos de partidas de obra.

Desde el punto de vista de los procesos que abarcan el seguimiento y pago de partidas de obra en su empresa ¿qué tan de acuerdo está con las siguientes expresiones?

		Muy en desacuerdo	Desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
		1	2	4	5
01	Las mediciones para realizar los estados de pago también son utilizadas para inferir el avance de obra.				
	Existe trazabilidad desde la medición hasta la aprobación de los estados de pago.				
	Los estados de pago realizados en su empresa son consistentes con lo que realmente se ha ejecutado.				
	El seguimiento partidas de obras es estandarizada.				
	La elaboración de estados de pago es estandarizado.				
	La aprobación de estados de pago es estandarizada.				
	La definición de los subcontratos (alcance, cantidad o precio) se mantiene sin modificaciones entre los sucesivos estados de pagos.				
	Es posible seguir el avance de obra de forma remota.				
	Es posible entregar al cliente el estado de avance de la obra en forma instantánea.				
	Los procesos que sigue su empresa para el seguimiento y pago de partidas de obra presentan importantes oportunidades de mejoramiento.				

Considerando la limitación de recursos en su empresa ¿Qué estaría dispuesto a hacer para mejorar los procesos de seguimiento y pago de partida de obra?

		Muy en desacuerdo	Desacuerdo	Indiferente	De acuerdo	Muy de acuerdo
		1	2	3	4	5
02	Estandarizar procesos.					

	Utilizar una plataforma que integre los datos de todos los procesos.					
	Utilizar herramientas 3D/BIM para apoyar medición y visualización.					
	Capacitar al personal.					
	Otro, Indique cuál:					

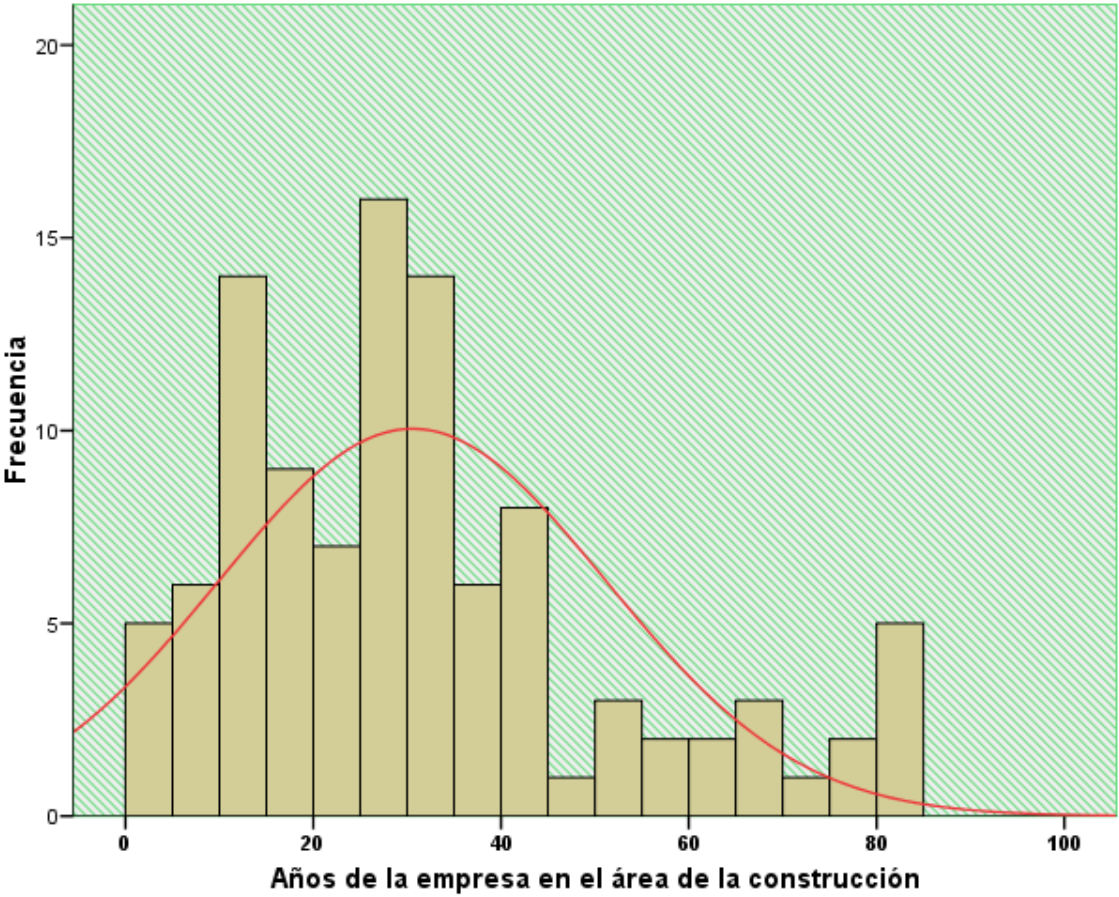
Indique con qué frecuencia los siguientes procesos representan un cuello de botella para el flujo de estados de pago.

		Nunca	Casi Nunca	A Veces	Casi Siempre	Siempre
		1	2	3	4	5
03	Seguimiento avances de partidas de obras.					
	Elaboración de estados de pago.					
	Aprobación de estados de pago.					

Indique el porcentaje que cada proceso representa en su jornada laboral:

		%
		1
04	Seguimiento avances de partidas de obras.	
	Elaboración de estados de pago.	
	Aprobación de estados de pago.	

ANEXO B: RESULTADOS SOCIODEMOGRÁFICOS



Facturación de la empresa	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
No tengo esta información	13	12%	12%
Entre USD\$1 MM - USD\$4 MM (Mediana)	17	16%	28%
Entre USD\$4 MM - USD\$8 MM (Grande 1)	8	7%	35%
Entre USD\$8 MM - USD\$24 MM (Grande 2)	16	15%	50%
Entre USD\$24 MM - USD\$40 MM (Grande 3)	20	18%	68%
Mayor a > USD\$40 MM (Grande 4)	35	32%	100%
Total	109	100	

ANEXO C: ANÁLISIS DE CORRELACIONES

Correlaciones Estructura y paquetes de trabajo

Rho de Spearman	Correlaciones	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad
Obras preliminares	Coef. de correlación	-0,002	0,12	0,185	,323(**)
	Sig. (bilateral)	0,982	0,227	0,061	0,001
	N	104	104	104	104
Obras de habilitación del terreno	Coeficiente de correlación	0,055	0,158	0,076	,415(**)
	Sig. (bilateral)	0,58	0,11	0,442	0
	N	104	104	104	104
Obra gruesa	Coeficiente de correlación	0,032	0,17	0,04	,334(**)
	Sig. (bilateral)	0,751	0,084	0,684	0,001
	N	104	104	104	104
Terminaciones	Coeficiente de correlación	0,056	0,114	-0,074	,371(**)
	Sig. (bilateral)	0,574	0,249	0,456	0

	N	104	104	104	104
Instalaciones	Coeficiente de correlación	0,098	0,067	-0,051	,414(**)
	Sig. (bilateral)	0,324	0,5	0,609	0
	N	104	104	104	104
Sistemas mecánicos de transporte	Coeficiente de correlación	0,158	0,031	-0,038	,281(**)
	Sig. (bilateral)	0,109	0,752	0,7	0,004
	N	104	104	104	104
Obras complementarias en el terreno propio	Coeficiente de correlación	,194(*)	0,183	0,075	,393(**)
	Sig. (bilateral)	0,049	0,063	0,448	0
	N	104	104	104	104
Obras de urbanización	Coeficiente de correlación	0,058	0,159	-0,078	,398(**)
	Sig. (bilateral)	0,559	0,107	0,434	0
	N	104	104	104	104
Por tipo de especialidades.	Coeficiente de correlación	0,123	0,007	0,126	,329(**)
	Sig. (bilateral)	0,214	0,944	0,202	0,001
	N	104	104	104	104

Por ubicación dentro del proyecto.	Coeficiente de correlación	,299(**)	0,047	,207(*)	,278(**)
	Sig. (bilateral)	0,002	0,639	0,035	0,004
	N	104	104	104	104
Por orden cronológico en el transcurso del proyecto.	Coeficiente de correlación	0,147	0,191	0,071	,385(**)
	Sig. (bilateral)	0,136	0,052	0,475	0
	N	104	104	104	104
Por tamaño o magnitud del trabajo.	Coeficiente de correlación	-0,01	0,108	0,151	0,144
	Sig. (bilateral)	0,919	0,274	0,125	0,145
	N	104	104	104	104
Por tipo de sub contratación.	Coeficiente de correlación	0,171	0,082	0,02	,209(*)
	Sig. (bilateral)	0,082	0,405	0,841	0,034
	N	104	104	104	104
Por la calidad necesaria para ejecutar el trabajo.	Coeficiente de correlación	0,027	,264(**)	0,063	0,167
	Sig. (bilateral)	0,787	0,007	0,525	0,091
	N	104	104	104	104
	Coeficiente de correlación	-0,016	0,126	0,013	0,15

Por tipo de costo	Sig. (bilateral)	0,869	0,203	0,897	0,13
(Directo o Indirecto).	N	104	104	104	104
Por modificación del	Coeficiente de correlación	0,036	0,133	0,04	0,168
alcance del	Sig. (bilateral)	0,716	0,18	0,685	0,088
contrato original.					
(Adicionales, Obras extraordinarias, extras, etc.)	N	104	104	104	104
¿Qué porcentaje respecto al costo	Coeficiente de correlación	0,173	0,104	0,016	,330(**)
directo del	Sig. (bilateral)	0,079	0,295	0,873	0,001
proyecto es asignado a subcontratos?	N	104	104	104	104

**La correlación es significativa al nivel 0,01

(bilateral).

*La correlación es significativa al nivel 0,05

(bilateral).

Correlaciones seguimiento de partidas de obra

Rho de Spearman	Correlaciones	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad
Planos o planillas impresas	Coeficiente de correlación	-0,049	-0,154	0,039	0,102
	Sig. (bilateral)	0,622	0,118	0,698	0,302
	N	104	104	104	104
Planos o planillas digitales en un	Coeficiente de correlación	-0,163	-0,021	0,093	0,004
	Sig. (bilateral)	0,099	0,829	0,345	0,969
	N	104	104	104	104

dispositivo móvil					
Modelos 3D/BIM	Coeficiente de correlación	-0,053	0,015	0,056	0,085
	Sig. (bilateral)	0,593	0,879	0,57	0,391
	N	104	104	104	104
Dibujos a mano	Coeficiente de correlación	0,072	-0,04	-0,041	0,129
	Sig. (bilateral)	0,467	0,689	0,677	0,192
	N	104	104	104	104
Software especialmente diseñado para eso	Coeficiente de correlación	-0,16	-0,04	-0,011	0,052
	Sig. (bilateral)	0,105	0,687	0,909	0,6
	N	104	104	104	104
Obras preliminares	Coeficiente de correlación	-,201(*)	-0,079	-0,03	-0,01
	Sig. (bilateral)	0,041	0,424	0,762	0,919
	N	104	104	104	104
Obras de habilitación del terreno	Coeficiente de correlación	0,087	-0,119	0,186	-0,099
	Sig. (bilateral)	0,38	0,228	0,059	0,317
	N	104	104	104	104

Obra gruesa	Coeficiente de correlación	0,126	-0,014	0,007	0,079
	Sig. (bilateral)	0,204	0,89	0,946	0,428
	N	104	104	104	104
Terminaciones	Coeficiente de correlación	0,029	0,04	-0,043	-0,069
	Sig. (bilateral)	0,772	0,685	0,665	0,485
	N	104	104	104	104
Instalaciones	Coeficiente de correlación	0,081	0,143	0,029	0,17
	Sig. (bilateral)	0,416	0,147	0,772	0,084
	N	104	104	104	104
Sistemas mecánicos de transporte	Coeficiente de correlación	-0,022	-0,084	0,143	0,025
	Sig. (bilateral)	0,823	0,397	0,147	0,803
	N	104	104	104	104
Obras complementarias en el terreno propio	Coeficiente de correlación	0,003	-0,18	0,084	0,036
	Sig. (bilateral)	0,978	0,067	0,394	0,718
	N	104	104	104	104
Obras de urbanización	Coeficiente de correlación	-0,018	0,049	0,112	-0,072

	Sig. (bilateral)	0,854	0,622	0,257	0,467
	N	104	104	104	104
Falta de tiempo para la ejecución del trabajo.	Coeficiente de correlación	0,096	0,073	0,004	0,04
	Sig. (bilateral)	0,334	0,463	0,971	0,689
	N	104	104	104	104
Falta de acceso a zonas para ser medidas.	Coeficiente de correlación	-0,047	0,034	-0,005	-0,113
	Sig. (bilateral)	0,637	0,728	0,963	0,254
	N	104	104	104	104
Falta de capacidad o competencia de las personas asignadas para el trabajo.	Coeficiente de correlación	-0,046	-0,004	0,013	0,068
	Sig. (bilateral)	0,644	0,972	0,898	0,495
	N	104	104	104	104
Falta de personas o cantidad insuficiente asignada para el trabajo.	Coeficiente de correlación	-0,044	0,057	0,038	0,179
	Sig. (bilateral)	0,655	0,563	0,703	0,069
	N	104	104	104	104

Falta de instrumentos adecuados para la medición.	Coeficiente de correlación	0,009	0,178	0,076	0,064
	Sig. (bilateral)	0,927	0,071	0,444	0,517
	N	104	104	104	104
Presiones del subcontratista.	Coeficiente de correlación	0,007	0,119	-0,059	0,147
	Sig. (bilateral)	0,945	0,23	0,553	0,136
	N	104	104	104	104

**La correlación es significativa al nivel 0,01

(bilateral).

*La correlación es significativa al nivel 0,05

(bilateral).

Correlaciones elaboración de estados de pago

Rho de Spearman	Correlaciones	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad
Falta de tiempo para la	Coeficiente de correlación	0,159	,209(*)	-0,007	0,157
	Sig. (bilateral)	0,108	0,034	0,941	0,111

ejecución del trabajo.	N	104	104	104	104
Falta de claridad de los datos medidos.	Coeficiente de correlación	0,067	,237(*)	0,056	0,028
	Sig. (bilateral)	0,499	0,016	0,569	0,781
	N	104	104	104	104
Falta de capacidad de las personas asignadas para el trabajo.	Coeficiente de correlación	-0,018	0,058	0	0,174
	Sig. (bilateral)	0,854	0,558	0,998	0,077
	N	104	104	104	104
Falta de personas o cantidad insuficiente asignada para el trabajo.	Coeficiente de correlación	0,055	0,168	0,025	0,157
	Sig. (bilateral)	0,582	0,089	0,798	0,111
	N	104	104	104	104
Herramientas informáticas complejas.	Coeficiente de correlación	0,044	0,177	-0,008	0,177
	Sig. (bilateral)	0,658	0,072	0,933	0,072
	N	104	104	104	104

Presiones del subcontratista.	Coeficiente de correlación	-0,043	0,173	-0,131	0,186
	Sig. (bilateral)	0,667	0,079	0,184	0,059
	N	104	104	104	104

**La correlación es significativa al nivel 0,01

(bilateral).

*La correlación es significativa al nivel 0,05

(bilateral).

Correlaciones aprobación de estados de pago

Rho de Spearman	Correlaciones	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad
Falta de tiempo para la ejecución del trabajo.	Coeficiente de correlación	-0,025	0,138	-0,095	-0,058
	Sig. (bilateral)	0,801	0,165	0,338	0,559
	N	103	103	103	103
	Coeficiente de correlación	-0,108	0,052	-0,046	-0,097

Falta de trazabilidad de datos.	Sig. (bilateral)	0,279	0,599	0,647	0,329
	N	103	103	103	103
Falta de confianza en la medición.	Coeficiente de correlación	-0,019	0,015	0,04	-0,002
	Sig. (bilateral)	0,851	0,883	0,687	0,984
	N	103	103	103	103
Falta de antecedentes requeridos.	Coeficiente de correlación	-0,001	0,103	0,015	-0,03
	Sig. (bilateral)	0,989	0,303	0,883	0,766
	N	103	103	103	103
Errores en el alcance (Elementos que no corresponden al subcontrato).	Coeficiente de correlación	-0,124	0,161	-0,025	0,023
	Sig. (bilateral)	0,21	0,103	0,806	0,82
	N	103	103	103	103
Dificultad para relacionar el alcance del	Coeficiente de correlación	-0,053	0,167	-0,093	0,064
	Sig. (bilateral)	0,594	0,092	0,35	0,523
	N	103	103	103	103

estado con físicos de la obra.					
Presiones del subcontratista.	Coeficiente de correlación	-0,127	0,109	-,202(*)	0,127
	Sig. (bilateral)	0,201	0,274	0,041	0,2
	N	103	103	103	103
Qué porcentaje de estados de pago son reprobados por alguno de los inconveniente s citados en la pregunta anterior	Coeficiente de correlación	0,102	0,052	0,026	-0,024
	Sig. (bilateral)	0,305	0,605	0,794	0,807
	N	103	103	103	103
Qué porcentaje generan atrasos en el	Coeficiente de correlación	-0,079	0,057	0,106	-0,169
	Sig. (bilateral)	0,425	0,564	0,285	0,087
	N	103	103	103	103

pago final al subcontratista					
Qué porcentaje no son pagados. - Rango de porcentaje	Coefficiente de correlación	-0,023	0,13	-0,041	0,086
	Sig. (bilateral)	0,816	0,191	0,684	0,39
	N	103	103	103	103
Porcentaje con problemas con el subcontratista	Coefficiente de correlación	-0,01	-0,026	0,049	-0,034
	Sig. (bilateral)	0,924	0,8	0,625	0,732
	N	101	101	101	101

Correlaciones estados de pago general

Rho de Spearman	Correlaciones	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad
Las mediciones para realizar los estados de pago también son	Coefficiente de correlación	0,018	-0,038	0,099	-0,055
	Sig. (bilateral)	0,86	0,7	0,322	0,578
	N	103	103	103	103

utilizadas para inferir el avance de obra (Curvas S, actualización de avance, Project, etc).					
Existe trazabilidad desde el seguimiento hasta la aprobación de los estados de pago.	Coeficiente de correlación	0,043	0,048	0,085	-0,148
	Sig. (bilateral)	0,669	0,632	0,393	0,136
	N	103	103	103	103
Los estados de pago realizados en su empresa son consistentes con lo que realmente se ha ejecutado.	Coeficiente de correlación	0,073	-0,157	0,04	-0,002
	Sig. (bilateral)	0,465	0,112	0,691	0,982
	N	103	103	103	103

El seguimiento de partidas de obras es estandarizada.	Coeficiente de correlación	-0,045	-0,012	0,039	-0,098
	Sig. (bilateral)	0,654	0,907	0,696	0,324
	N	103	103	103	103
La elaboración de estados de pago es estandarizado.	Coeficiente de correlación	0,01	0,139	0,119	0,102
	Sig. (bilateral)	0,922	0,161	0,231	0,308
	N	103	103	103	103
La aprobación de estados de pago es estandarizado.	Coeficiente de correlación	0,186	0,114	0,104	0,01
	Sig. (bilateral)	0,059	0,253	0,296	0,921
	N	103	103	103	103
La definición de los subcontratos (alcance, cantidad o precio) se mantiene sin modificaciones entre los sucesivos	Coeficiente de correlación	-0,052	0,082	0,02	0,076
	Sig. (bilateral)	0,604	0,413	0,841	0,445
	N	103	103	103	103

estados de pagos.					
Es posible seguir el avance de obra de forma remota.	Coeficiente de correlación	-0,015	0,05	0,041	0,039
	Sig. (bilateral)	0,88	0,615	0,68	0,695
	N	103	103	103	103
Es posible entregar al cliente el estado de avance de la obra en forma instantánea.	Coeficiente de correlación	-0,185	0,012	-0,004	-0,078
	Sig. (bilateral)	0,061	0,906	0,971	0,434
	N	103	103	103	103
Los procesos que sigue su empresa para el seguimiento y pago de partidas de obra presentan importantes	Coeficiente de correlación	-0,039	-0,024	0,004	-0,004
	Sig. (bilateral)	0,694	0,81	0,967	0,97
	N	103	103	103	103

oportunidades de mejoramiento.					
Estandarizar procesos.	Coeficiente de correlación	-0,11	,211(*)	-0,131	0,067
	Sig. (bilateral)	0,269	0,033	0,188	0,5
	N	103	103	103	103
Utilizar una plataforma que integre los datos de todos los procesos.	Coeficiente de correlación	-0,049	,227(*)	-0,123	0,139
	Sig. (bilateral)	0,62	0,021	0,214	0,162
	N	103	103	103	103
Utilizar herramientas 3D/BIM para apoyar medición y visualización.	Coeficiente de correlación	-0,004	0,169	-0,086	0,157
	Sig. (bilateral)	0,967	0,088	0,387	0,113
	N	103	103	103	103
Capacitar al personal.	Coeficiente de correlación	0,042	0,055	0,003	-0,08
	Sig. (bilateral)	0,674	0,584	0,975	0,421
	N	103	103	103	103

Seguimiento de partidas de obras.	Coefficiente de correlación	-0,066	0,159	-0,071	-0,006
	Sig. (bilateral)	0,51	0,109	0,479	0,952
	N	103	103	103	103
Elaboración de estados de pago.	Coefficiente de correlación	-0,042	0,108	0,028	-0,046
	Sig. (bilateral)	0,673	0,277	0,776	0,642
	N	103	103	103	103
Aprobación de estados de pago.	Coefficiente de correlación	-0,092	0,151	-0,053	-0,175
	Sig. (bilateral)	0,356	0,129	0,594	0,077
	N	103	103	103	103
Seguimiento de partidas de obras. - % de tiempo	Coefficiente de correlación	-0,123	,221(*)	-,203(*)	-0,023
	Sig. (bilateral)	0,215	0,025	0,04	0,814
	N	103	103	103	103
Elaboración estados de pago. - % de tiempo	Coefficiente de correlación	-0,073	0,106	-0,109	-0,033
	Sig. (bilateral)	0,464	0,285	0,272	0,744
	N	103	103	103	103
Aprobación de estados de	Coefficiente de correlación	-0,111	,212(*)	-0,16	0,061

pago. - % de	Sig. (bilateral)	0,263	0,031	0,107	0,54
tiempo	N	103	103	103	103

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

*La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

ANEXO D: CORRELACIONES COMPARATIVAS

Comparación de correlaciones		Profesionales de Oficina				Profesionales en Obra			
Rho de Spearman	Correlaciones	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad	Tiempo en la empresa	Cargo de la empresa por tipo de importancia	Facturación de la empresa	Rubro de la empresa por cantidad
Las mediciones para realizar los estados de pago también son utilizadas para inferir el avance de obra (Curvas S,	Coeficiente de correlación	0,21	0,123	0,197	0,179	-0,298	-,380(*)	-0,132	-,442(**)
	Sig. (bilateral)	0,095	0,332	0,118	0,158	0,065	0,017	0,423	0,005
	N	64	64	64	64	39	39	39	39

actualización de avance, Project, etc).									
Existe trazabilidad desde el seguimiento hasta la aprobación de los estados de pago.	Coeficiente de correlación	0,194	0,189	0,076	0,1	-0,227	-0,254	0,023	-,598(**)
	Sig. (bilateral)	0,125	0,136	0,552	0,432	0,164	0,118	0,891	0
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Los estados de pago realizados en su empresa son consistentes con lo que realmente se ha ejecutado.	Coeficiente de correlación	0,18	0,01	0,023	0,162	-0,139	-,430(**)	0,186	-,369(*)
	Sig. (bilateral)	0,155	0,938	0,855	0,202	0,397	0,006	0,257	0,021
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
El seguimiento de obras es estandarizada.	Coef. de correlación	0,021	0,065	-0,084	0,073	-0,118	-0,171	0,192	-,408(**)
	Sig. (bilateral)	0,869	0,609	0,51	0,568	0,474	0,299	0,242	0,01

	N	64	64	64	64	39	39	39	39
La elaboración de estados de pago es estandarizado.	Coef. de correlación	0,117	,345(**)	0,049	,310(*)	-0,138	-0,248	0,213	-0,258
	Sig. (bilateral)	0,357	0,005	0,701	0,013	0,402	0,128	0,194	0,112
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
La aprobación de estados de pago es estandarizado.	Coefi. de correlación	,321(**)	0,199	0,194	0,192	-0,08	-0,057	-0,099	-,340(*)
	Sig. (bilateral)	0,01	0,115	0,125	0,129	0,628	0,73	0,547	0,034
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
La definición de los subcontratos (alcance, cantidad o precio) se mantiene sin modificaciones entre	Coeficiente de correlación	0,038	0,237	-0,022	,290(*)	-0,192	-0,245	0,006	-0,285
	Sig. (bilateral)	0,768	0,059	0,863	0,02	0,242	0,132	0,97	0,078
	N	64	64	64	64	39	39	39	39

los sucesivos estados de pagos.									
Es posible seguir el avance de obra de forma remota.	Coef. de correlación	0,086	0,216	-0,072	0,233	-0,105	-0,253	0,127	-0,252
	Sig. (bilateral)	0,498	0,086	0,57	0,063	0,527	0,12	0,44	0,122
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Es posible entregar al cliente el estado de avance de la obra en forma instantánea.	Coef. de correlación	-0,185	0,135	-0,121	0,091	-0,104	-0,238	0,146	-,361(*)
	Sig. (bilateral)	0,143	0,288	0,341	0,472	0,53	0,145	0,374	0,024
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Los procesos que sigue su empresa para el seguimiento y pago de partidas de obra presentan importantes	Coeficiente de correlación	0,038	0,107	0,078	0,127	-0,152	-0,305	-0,171	-0,245
	Sig. (bilateral)	0,763	0,4	0,542	0,319	0,356	0,059	0,298	0,133
	N	64	64	64	64	39	39	39	39

oportunidades de mejoramiento.									
Estandarizar procesos.	Coef. de correlación	-0,045	,340(**)	-0,157	,282(*)	-0,183	-0,037	-0,182	-0,28
	Sig. (bilateral)	0,722	0,006	0,216	0,024	0,264	0,822	0,269	0,084
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Utilizar una plataforma que integre los datos de todos los procesos.	Coef.e de correlación	-0,062	,347(**)	-0,112	,300(*)	0,024	0	-0,191	-0,144
	Sig. (bilateral)	0,625	0,005	0,376	0,016	0,884	0,999	0,243	0,383
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Utilizar herramientas 3D/BIM para apoyar medición y visualización.	Coef. de correlación	0,129	0,184	-0,03	,338(**)	-0,234	0,136	-0,179	-0,177
	Sig. (bilateral)	0,309	0,145	0,816	0,006	0,152	0,41	0,275	0,282
	N	64	64	64	64	39	39	39	39

Capacitar al personal.	Coef. de correlación	0,101	0,139	-0,023	0,126	-0,043	-0,107	0,023	-,453(**)
	Sig. (bilateral)	0,428	0,273	0,855	0,322	0,795	0,517	0,887	0,004
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Seguimiento de partidas de obras.	Coef. de correlación	0,034	0,231	0,053	0,106	-0,234	0,014	-0,242	-0,218
	Sig. (bilateral)	0,788	0,066	0,676	0,404	0,151	0,93	0,138	0,183
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Elaboración de estados de pago.	Coef. de correlación	0,032	,299(*)	0,1	0,091	-0,144	-0,289	-0,083	-0,315
	Sig. (bilateral)	0,803	0,016	0,433	0,473	0,381	0,075	0,615	0,051
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Aprobación de estados de pago.	Coef. de correlación	0,006	,267(*)	0,023	-0,012	-0,261	-0,065	-0,133	-,571(**)
	Sig. (bilateral)	0,961	0,033	0,859	0,923	0,108	0,694	0,42	0

	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Seguimiento de partidas de obras. - % de tiempo	Coeficiente de correlación	-0,132	,349(**)	-0,177	0,058	-0,166	-0,005	-0,12	-,346(*)
	Sig. (bilateral)	0,298	0,005	0,162	0,649	0,312	0,976	0,466	0,031
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Elaboración de estados de pago. - % de tiempo	Coeficiente de correlación	-0,122	,277(*)	-0,143	0,036	-0,106	-0,188	0,21	-,443(**)
	Sig. (bilateral)	0,335	0,027	0,259	0,78	0,519	0,253	0,2	0,005
	N	64	64	64	64	39	39	39	39
Aprobación de estados de pago. - % de tiempo	Coeficiente de correlación	-0,054	,377(**)	-0,2	0,224	-0,205	-0,124	-0,076	-0,298
	Sig. (bilateral)	0,674	0,002	0,112	0,075	0,211	0,451	0,647	0,066
	N	64	64	64	64	39	39	39	39

.** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

.* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

ANEXO E: PRUEBAS DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA

El test Kolmogorov-Smirnov (K-S) es el más extendido en la práctica, se basa en la idea de comparar la función de distribución acumulada de los datos observados con la de una distribución normal, midiendo la máxima distancia entre ambas curvas.

Como en cualquier teste de hipótesis, la hipótesis nula se rechaza cuando el valor del estadístico supera un cierto valor crítico que se obtiene de una tabla de probabilidad.

Por lo tanto, la hipótesis nula (H_0), está dada por: distribución empírica se ajusta a una distribución normal (con media y desviación estándar estimadas desde la muestra). Se rechaza la hipótesis nula si el valor de p es menor a 0,05 (en este caso los datos no se ajustan a una distribución normal).

A continuación, se registran las pruebas K –S para cada uno de los ítems.

		P1.1.1	P1.1.2	P1.1.3	P1.1.4	P1.1.5	P1.1.6	P1.1.7	P1.1.8	P1.2.1
N		104	104	104	104	104	104	104	104	104
Parámetros	Media	2,8173	3,6058	3,4423	3,7692	4,1731	4,25	3,8173	3,6827	4,4327
	Desviación									
	normales(a,b) típica	1,34932	1,41021	1,39226	1,28645	1,23416	1,37064	1,23669	1,24841	0,65008
	Absoluta	0,16	0,274	0,233	0,283	0,345	0,41	0,261	0,225	0,318
Diferencias	Positiva	0,16	0,161	0,132	0,169	0,251	0,292	0,169	0,146	0,238
más extremas	Negativa	-0,121	-0,274	-0,233	-0,283	-0,345	-0,41	-0,261	-0,225	-0,318
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,635	2,79	2,372	2,883	3,516	4,179	2,658	2,298	3,245
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0.00	0	0	0	0	0	0	0
		P1.2.2	P1.2.3	P1.2.4	P1.2.5	P1.2.6	P1.2.7	P1.2.8	P1.3	P2.1.1

N		104	104	104	104	104	104	104	104	104
	Media	2,9904	2,9615	3,0769	3,3365	3,1058	2,8365	2,9038	43,125	6,8077
Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	1,16165	1,29167	1,17987	1,17093	1,20612	1,28555	1,18665	21,07162	16,00247
	Absoluta	0,17	0,214	0,168	0,195	0,184	0,194	0,181	0,097	0,516
Diferencias	Positiva	0,17	0,214	0,141	0,132	0,138	0,194	0,181	0,097	0,516
más extremas	Negativa	-0,157	-0,135	-0,168	-0,195	-0,184	-0,163	-0,159	-0,067	-0,358
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,635	1,731	2,182	1,709	1,991	1,879	1,982	1,843	0,993
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0,005	0	0,006	0,001	0,002	0,001	0,002	0,277

	P2.1.2	P2.1.3	P2.1.4	P2.1.5	P2.3.1	P2.3.2	P2.3.3	P2.3.4	P2.3.5
N	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Media	5,3365	4,5673	5,125	5,2115	4,9904	5,3846	5,625	5,8942	6,0673

Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	16,26098	16,38064	16,29145	16,29919	16,30504	16,23511	16,19072	16,14733	16,13069
	Absoluta	0,479	0,475	0,474	0,476	0,495	0,505	0,502	0,493	0,498
Diferencias	Positiva	0,479	0,475	0,474	0,476	0,495	0,505	0,502	0,493	0,498
más extremas	Negativa	-0,395	-0,414	-0,4	-0,398	-0,403	-0,394	-0,388	-0,381	-0,377
Z de Kolmogorov-										
Smirnov		1,635	4,889	4,848	4,836	4,858	5,052	5,151	5,114	5,03
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
		P2.3.6	P2.3.7	P2.3.8	P2.4.1	P2.4.2	P2.4.3	P2.4.4	P2.4.5	P2.4.6
N		104	104	104	104	104	104	104	104	104
	Media	5,4038	5,2596	5,4808	5,9038	4,9615	6,3942	5,6058	5,0865	6,3654

Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	16,24361	16,25524	16,21816	16,14769	16,29993	18,62633	16,19566	16,28992	18,64802
	Absoluta	0,481	0,483	0,488	0,493	0,5	0,493	0,491	0,488	0,491
Diferencias	Positiva	0,481	0,483	0,488	0,493	0,5	0,493	0,491	0,488	0,491
más extremas	Negativa	-0,393	-0,397	-0,391	-0,381	-0,404	-0,386	-0,388	-0,401	-0,387
Z de Kolmogorov-										
Smirnov		1,635	4,906	4,924	4,98	5,032	5,097	5,032	5,011	4,978
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
		P.3.2.1	P3.2.2	P3.2.3	P3.2.4	P3.2.5	P3.2.6	P3.3.1	P3.3.2	P3.3.3
N		104	104	104	104	104	104	103	103	103
	Media	6,5481	6,3365	6,1442	6,1827	5,6538	7,1058	12,1456	11,2136	11,1553

Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	18,6031	18,63685	18,67578	18,67232	18,77499	20,78037	28,63373	27,30677	27,32547
	Absoluta	0,497	0,511	0,507	0,498	0,497	0,492	0,501	0,517	0,506
Diferencias	Positiva	0,497	0,511	0,507	0,498	0,497	0,492	0,501	0,517	0,506
más extremas	Negativa	-0,383	-0,387	-0,391	-0,391	-0,402	-0,384	-0,349	-0,354	-0,355
Z de Kolmogorov-										
Smirnov		1,635	5,066	5,216	5,173	5,083	5,065	5,02	5,089	5,245
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0	0	0	0	0	0	0	0

	P3.3.4	P3.3.5	P3.3.6	P3.3.7	P3.4	P3.5.1	P3.5.2	P3.5.3	P4.1.1
N	103	103	103	103	103	103	103	101	103
Media	11,3107	10,9223	11,0097	10,8155	24,466	32,466	15,5922	16,6733	16,0194

Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	27,27745	27,39783	27,37162	27,43718	27,91578	34,73085	29,80375	29,21921	33,08307
	Absoluta	0,518	0,512	0,514	0,497	0,272	0,246	0,351	0,382	0,495
Diferencias	Positiva	0,518	0,512	0,514	0,497	0,272	0,246	0,351	0,382	0,495
más extremas	Negativa	-0,353	-0,359	-0,357	-0,36	-0,19	-0,175	-0,3	-0,284	-0,325
Z de Kolmogorov-										
Smirnov		1,635	5,26	5,2	5,213	5,039	2,763	2,495	3,563	3,843
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0	0	0	0	0	0	0	0

	P4.1.2	P4.1.3	P4.1.4	P4.1.5	P4.1.6	P4.1.7	P4.1.8	P4.1.9	P4.1.10
N	103	103	103	103	103	103	103	103	103
Media	16,0874	16,233	15,7184	16,0874	16,233	15,6214	15,5049	15,3883	16,165

Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	33,05287	32,99263	33,20035	33,05317	32,99442	33,23981	33,28836	33,33174	33,02052
	Absoluta	0,495	0,499	0,502	0,497	0,497	0,501	0,49	0,498	0,498
Diferencias	Positiva	0,495	0,499	0,502	0,497	0,497	0,501	0,49	0,498	0,498
más extremas	Negativa	-0,324	-0,322	-0,329	-0,325	-0,322	-0,33	-0,332	-0,333	-0,334
Z de Kolmogorov-										
Smirnov		1,635	5,028	5,064	5,095	5,045	5,047	5,082	4,968	5,052
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0	0	0	0	0	0	0	0

	P4.2.1	P4.2.2	P4.2.3	P4.2.4	P4.3.1	P4.3.2	P4.3.3	P4.4.1	P4.4.2
N	103	103	103	103	103	103	103	103	103
Media	17,0583	16,9417	16,4369	17,1262	16,0485	15,9223	15,9806	26,6699	27,7184

Parámetros	Desviación									
normales(a,b)	típica	32,66671	32,715	32,92138	32,63905	33,06985	33,12119	33,10233	33,05889	33,11786
	Absoluta	0,508	0,507	0,5	0,509	0,495	0,493	0,494	0,23	0,223
Diferencias	Positiva	0,508	0,507	0,5	0,509	0,495	0,493	0,494	0,23	0,223
más extremas	Negativa	-0,313	-0,313	-0,32	-0,312	-0,325	-0,326	-0,325	-0,21	-0,201
Z de Kolmogorov-										
Smirnov		1,635	5,156	5,141	5,074	5,165	5,023	5,006	5,014	2,339
Sig. asintót. (bilateral)		0,01	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO E: ENTREVISTA PARA EVALUAR IMPACTOS CUALITATIVOS EN CASO DE ESTUDIO

Nombre		Cargo		Proceso que participa		Fecha	
Constructo	Pregunta				Respuesta		
Valor o impacto	¿El modelo propuesto simplifica o facilita el proceso que usted desempeña? ¿Cómo?						
	¿El modelo propuesto ayuda a disminuir el tiempo del proceso? ¿Por qué?						
	¿El modelo propuesto vuelve al proceso más transparente que la metodología tradicional? ¿Cómo?						
	¿El modelo propuesto posibilita la trazabilidad del proceso? ¿Como se comporta aguas arriba y aguas abajo del proceso que desempeña?						
	¿Que valor aporta al proceso la gestión visual que permite el modelo? ¿los estados de avance y pago sirven?						
	¿Las cubicaciones arrojadas por modelo dan mayor confianza que las calculadas en forma manual? ¿Por qué?						
	¿Considera que se mejora la capacidad de relacionar los elementos físicos del contrato con el avance de la obra? ¿Por qué?						

Aplicabilidad y usabilidad	¿Que percepción tiene en cuanto al uso del modelo propuesto?	
	¿Que considera que podría cambiar en su trabajo cotidiano el uso del modelo?	
	¿Cuál es la perspectiva de la empresa en relación a posibles usos de BIM en la gestión de EEPP para proyectos futuros?	
Oportunidades y desafíos	¿Que ventajas y oportunidades de mejoramiento podría proponer?	
	¿Que desventajas o debilidades percibe en el proceso gestionado con el modelo propuesto?	
Representatividad	¿El proyecto y los inconvenientes con los subcontratistas de esta obra son típicos o inusuales en otras obras de la empresa?	