

MODEL OF IMPLEMENTATION OF THE BRIM METHODOLOGY FOR THE OPTIMIZATION OF THE PLANNING AND EXECUTION OF ARMED CONCRETE BRIDGES ON RIVERS

José Villanes¹, Luis Maesaka¹ and Elsa Carrera¹

¹ Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u200921123@upc.edu.pe, u201313677@upc.edu.pe, pcciecar@upc.edu.pe

Abstract— Bridge projects present problems throughout their development, such as cost overruns, delays and poor quality. The most common causes are poor planning, budgets not adjusted to reality, errors in the basic studies and consequently in the technical file, as well as the existence of errors in the transfer of information between stages or those involved. For all this, a research was carried out whose purpose is to propose a model of implementation of the BrIM methodology that allows to optimize the construction of reinforced concrete bridges over rivers and use it in future bridge projects with these characteristics. This model guides its application in the stages of technical file and project execution, through the virtual construction of the project divided into six three-dimensional models of information in which ten BrIM uses are developed. For the validation of the study, a comparative analysis was made between the traditional way of working with the proposed BrIM implementation model applied to the information of the technical file and execution of a bridge located in the jungle region of South America; it was evidenced that with the use of the proposed model, the following results were obtained: a cost reduction of 11.3%; identification of interferences and inconsistencies before the start of the execution; more detailed and realistic planning, better analysis of constructibility and efficient management of RFI's (Information Requests).

Keywords— BIM, BrIM, Virtual construction, Armored concrete bridges, BrIM implementation.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.62>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Modelo de Implementación de la Metodología BRIM para la Optimización de la Planificación y Ejecución de Puentes de Concreto Armado Sobre Ríos

José Villanes¹, Luis Maesaka¹ and Elsa Carrera¹

¹ Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u200921123@upc.edu.pe, u201313677@upc.edu.pe, pcciecar@upc.edu.pe

Resumen– Los proyectos de puentes presentan problemas a lo largo de su desarrollo como son sobrecostos y demoras. Las causas más comunes son un planeamiento deficiente, presupuestos no ajustados a la realidad, errores en los estudios básicos y consecuentemente en el expediente técnico, así como también, por la existencia de errores en la transferencia de información entre etapas o de los involucrados. Por todo esto, se realizó una investigación cuyo objetivo es proponer un modelo de implementación de la metodología BrIM (Bridge Información Modeling) que permita optimizar el tiempo y costo en la construcción de puentes de concreto armado sobre ríos y emplearlo en futuros proyectos de puentes con estas características. Este modelo orienta su aplicación en las etapas de expediente técnico y ejecución del proyecto, a través de la construcción virtual del proyecto dividido en seis modelos tridimensionales de información en los que se desarrollan diez usos BrIM. Para la validación del estudio se realizó un análisis comparativo entre la forma tradicional de trabajo con el modelo de implementación BrIM propuesto aplicado a la información del expediente técnico y ejecución de un puente ubicado en la región selvática de Sudamérica; se evidenció que con el uso del modelo propuesto se obtuvo como resultados: una reducción de costos en 11.3% y una reducción de tiempo del 19% gracias a la identificación de interferencias e inconsistencias antes del inicio de la ejecución, una planificación más detallada y realista, un mejor análisis de constructibilidad y una eficiente gestión de los RFI's (Request for Information).

Palabras Clave: BIM, BrIM, Construcción virtual, Puentes de concreto armado, Implementación BrIM, Modelado de Puentes.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con una gran necesidad de construcción, rehabilitación y mantenimiento de puentes a lo largo de toda su red vial debido a la brecha existente en este rubro: 31, 850 millones de dólares al 2025 (AFIN, 2015), adicionalmente el fenómeno del Niño Costero del 2017 destruyó 386 puentes entre Lima y Tumbes (PCM, 2017). Debido al crecimiento poblacional del país se incrementa la necesidad de infraestructura de carreteras y puentes para continuar el crecimiento económico. Por otro lado, por el desarrollo lento y con algunas dificultades se percibe poca eficiencia en el desarrollo y ejecución de los proyectos de puentes, prueba de ello es que el Programa Nacional de Puentes perteneciente a PROVIAS tenía planificado alcanzar 1400 puentes a nivel nacional entre el 2012 y 2016 y solo se ha logrado un 50% (EXPOCONVIAL, 2017). Este mismo panorama adolecen los países en desarrollo de América Latina.

Gran parte de los proyectos de puentes alrededor del mundo, siguen su proceso de construcción de manera tradicional, el cual se basa en el uso de tecnología 2D, como consecuencia se han hallado gran cantidad de problemas en el desarrollo de este tipo de proyectos. Los principales problemas radican en que los planos y los documentos técnicos presentan un gran número de inconsistencias, incompatibilidades y hasta datos erróneos, generando sobrecostos y mayor tiempo de ejecución. Esto se debe principalmente a la poca integración de la información, bajo uso de tecnologías de información y baja comunicación existente entre los participantes multidisciplinares involucrados en el proyecto.

En base a estos problemas, se han ido desarrollando diversas alternativas, una de ellas, Bridge Information Modeling (BrIM) que ha revolucionado el pensamiento tradicional, pues esta metodología de trabajo tiene como objetivo principal unificar la información del proyecto generando un modelo tridimensional provisto de datos cuantificables, el cual pueda ser utilizado de manera conjunta por todo el equipo de trabajo. Sin embargo, existe la necesidad de desarrollar modelos de implementación que permitan hacer realidad el empleo de la metodología BrIM en los proyectos de puentes, por ese motivo la presente investigación desarrolla una propuesta de implementación BrIM enfocada en la optimización de la planificación y ejecución de puentes de concreto armado sobre ríos. Esta propuesta comprende la construcción virtual del proyecto a través del modelado 3D de la información de estudios básicos y la estructura del puente en una secuencia que permita desarrollar los usos BrIM más favorables a este tipo de puentes para lograr obtener los beneficios en costo y tiempo en la ejecución de la obra.

La presente investigación inicia con una descripción de investigaciones precedentes sobre la problemática y las soluciones propuestas a través de la metodología BrIM. Luego se hace una descripción de la propuesta a través de un flujo de trabajo para materializar la implementación del modelo, así como la descripción de cada componente del mismo. Seguidamente se realiza la validación del modelo en un proyecto específico, donde se realiza la construcción virtual del puente y se desarrollan los usos BrIM propuestos en el modelo de implementación. Finalmente se muestran los resultados y las conclusiones de la investigación.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.62>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

II. ESTADO DEL ARTE

Muchos esfuerzos han sido conducidos para abordar diferentes aspectos en el diseño y construcción haciendo uso de la metodología BIM en los proyectos de puentes. (Yang Zou et al. 2014) propuso un marco de trabajo BIM detallado para ingeniería de puentes basado en el flujo de trabajo tradicional que incorpora la colaboración e interoperabilidad en todo el ciclo de vida del puente. (Mohamed Marzouk et al. 2012) describe como implementar satisfactoriamente BIM en proyectos de puentes para lo cual formulan un plan de ejecución BIM que requiere 4 pasos: identificación de usos BIM para todas las etapas del proyecto, diseño del proceso de ejecución BIM a través de la creación de mapa de procesos, definición de entregables BIM en formato de intercambio de información; y el desarrollo de la infraestructura necesaria para el soporte de la implementación. (Mohamed M. Marzouk et al. 2013) presenta un modelo de información integrado del ciclo de vida de puentes con el uso de BrIM, para la etapa de diseño realiza una selección del método de construcción óptimo y un análisis estructural avanzado; en la etapa de construcción realiza una selección de ubicación de grúa, un monitoreo del estado de los componentes prefabricados y un control automatizado de documentos de construcción; en la etapa de operación y mantenimiento realiza una mejora en los módulos del sistema de gestión de puentes. (CS Shim et al. 2011) propone un esquema de información extensible para habilitar la interoperabilidad entre los diferentes procesos de diseño y construcción. Bosquejos digitales, modelado paramétrico, simulaciones 4D Y 5D fueron usados. (Juan Sebastián et al. 2014) aplicó la metodología BrIM para mejorar el rendimiento y desarrollo de la planificación constructiva de este tipo de estructuras. Su desarrollo se dividió en tres fases: la construcción del modelo conceptual, la simulación del proceso constructivo y la cuantificación de materiales y costos.

En base al análisis y revisión de los estudios previos, se logró identificar la falta de un modelo que pueda detallar la implementación BrIM y de esta manera obtener mayores beneficios de esta metodología en el tipo de puentes propuesto. Este estudio tiene como propósito buscar la reducción de tiempo y costos de este tipo de obras, a través de la intervención en las etapas de Expediente Técnico y Ejecución del proyecto. El Puente Yunculmas, situado en la selva del Perú, fue el caso de estudio tomado en el que luego de la aplicación se pudo evidenciar una optimización del expediente técnico y la reducción de costo y tiempo en la etapa de ejecución.

III. METODOLOGÍA PROPUESTA

El flujo integrado de trabajo BrIM que se presenta en este estudio posee características que permite ser utilizado en proyectos de puentes para obtener grandes beneficios en costo y tiempo, a través de la implementación en las etapas de Expediente Técnico y Ejecución. Este modelo de implementación está compuesto por los estudios básicos de las diferentes especialidades como información de entrada, los modelos de información tridimensional como maquetas digitales y el desarrollo de usos BrIM, así como también, las

herramientas de software utilizados en el desarrollo del mismo como se puede evidenciar en la Figura 1.

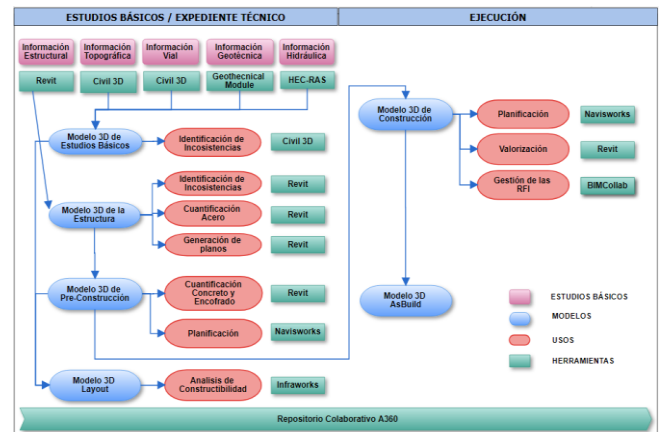


Fig. 1 Flujograma del modelo de implementación BrIM en puentes sobre ríos

En la etapa de Expediente Técnico, la secuencia del flujograma propuesto permite desarrollar los usos como la identificación de inconsistencias, la cuantificación de materiales y la generación de planos compatibilizados a partir de los Modelos 3D de Estudios Básicos y de Estructuras. También, permite una planificación detallada y más realista, que se logra gracias a la separación del Modelo 3D de la Estructura en unidades construibles que da lugar al Modelo 3D de Pre-Construcción. Finalmente, en esta fase también se desarrolla el uso de análisis de constructibilidad, el cual se obtiene a partir de la integración del primer y tercer Modelo 3D mencionados del flujograma que da lugar al Modelo 3D de Layout, este modelo permite tener una mejor visualización de la estructura y el entorno, con el objetivo de determinar el método constructivo más apropiado acorde a las condiciones del emplazamiento del puente. En la etapa de Ejecución, de acuerdo al flujograma propuesto se plantea un ajuste en la planificación previamente elaborada, pero considerando las condiciones reales en obra. A su vez, es posible obtener información para las valorizaciones periódicas a través de la cuantificación de los materiales (Acero, Concreto y Encofrado) a partir de las unidades construibles que se van ejecutando en obra. Finalmente, en esta etapa, el modelo propuesto plantea una gestión eficiente de los RFI's, a través de la implementación de una plataforma de consultas en línea, que permite el uso de los modelos tridimensionales y/o fotografías en la solicitud y respuesta de los RFI's generados en obra.

Para el desarrollo de los usos mencionados en el modelo de implementación se considera inicialmente la construcción de dos modelos tridimensionales, el Modelo 3D de Estudios Básicos, que se realiza en base a la información de las diferentes disciplinas y el Modelo 3D de Estructuras del puente que se realiza en base a los planos estructurales. Por otro lado, a partir de este último, nace el Modelo 3D de Pre-construcción, el cual considera la división de cada elemento estructural en unidades construibles de acuerdo al proceso constructivo real. Así mismo, el Modelo 3D de Pre-Construcción sirve de base para el Modelo 3D de

Construcción, este último no se modificará a menos que la constructora encargada considere cambiar la planificación en secuencia, tiempo de construcción y dimensiones de las unidades construibles planteadas en el modelo anterior. Todas las modificaciones a lo largo de la construcción del puente son realizadas en este Modelo 3D. Por último, al final de la ejecución se unifica las unidades construibles del Modelo 3D de Construcción dando lugar al Modelo 3D AsBuilt para su uso en las acciones de operación y mantenimiento del puente. Toda la información del proyecto, así como los modelos tridimensionales del proyecto creados se almacenarán en un repositorio unificado en línea permitiendo su gestión eficiente. El modelo de implementación propone el uso de la plataforma A360 para este fin, cuyas ventajas son la capacidad de versionar los archivos, evitando confusión y agilizando el tiempo de búsqueda de los mismos; y el acceso desde cualquier dispositivo con solo una conexión a internet, permitiendo visualizar los modelos tridimensionales en línea.

3.1 APLICACIÓN DEL MODELO EN LA ETAPA DE EXPEDIENTE TÉCNICO

A. *Identificación de Inconsistencias*

La identificación de inconsistencias se realiza a la información de los estudios básicos de ingeniería y a la información de la estructura del puente. Para el primer caso se debe elaborar el Modelo 3D de Estudios Básicos que contenga la siguiente información; la superficie del terreno de los estudios topográficos; los perfiles estratigráficos del estudio de suelos y geotécnico; los niveles de inundación del cauce del río para los diferentes periodos de retorno de los estudios hidrológicos e hidráulicos; y el trazo y diseño de la carretera de los estudios geométricos viales. La representación de la información por cada disciplina en un único modelo tridimensional permite visualizar y comprender mejor el proyecto e identificar de una forma más acertada las inconsistencias, errores y omisiones. Para el segundo caso, en base a los planos estructurales se debe construir el Modelo 3D de la Estructura del puente, el cual permita una mejor visualización de cada uno de sus elementos, desde distintas perspectivas. La representación tridimensional de la estructura del puente, permite identificar posibles inconsistencias e incompatibilidades entre los planos, así como errores y omisiones en las dimensiones y detalles del concreto y acero, partidas más importantes de este tipo de puentes.

B. *Cuantificación de Materiales*

En cuanto a la cuantificación de materiales, el modelo propuesto contempla las partidas de concreto, acero y encofrado. Para la partida de acero, se utiliza el Modelo 3D de la Estructura del puente porque considera el detalle de acero de cada elemento estructural, la cuantificación del acero toma en cuenta sus diferentes diámetros y a que elemento estructural pertenece. Para las partidas de concreto y encofrado se utiliza el Modelo 3D de Pre-construcción porque representa las unidades o etapas constructivas de cada elemento estructural, las cuales son necesarias para clasificar el tipo de concreto y encofrado a utilizar. Por ende, para la

cuantificación del concreto, se clasifica de acuerdo a la resistencia presente en cada unidad construible y a las condiciones a las que estará expuesto (bajo agua o en superficie). De igual forma, la cuantificación del encofrado se clasifica de acuerdo al tipo de acabado (caravista o cara no vista) y a las condiciones a las que estará expuesto. En consecuencia, cada unidad construible tendrá información de cantidad de concreto, acero y encofrado que contiene. De esta forma se obtiene una cuantificación de materiales más preciso y confiable.

C. *Planificación*

Se plantea el uso de un modelo de información tridimensional que permita realizar una planificación más ajustada al proceso constructivo de este tipo de infraestructura. El Modelo 3D de Pre-construcción es el indicado para esta tarea, pues presenta a cada uno de sus elementos estructurales divididos en unidades construibles. Estas unidades siguen la secuencia constructiva de encofrado, acero y concreto. La realización de cada una de estas actividades requiere de una secuencia y tiempo determinado, los cuales son considerados para la planificación y programación de la obra. Para lograr ello en el cronograma se debe considerar como elemento mínimo a la unidad construible, a la cual se debe asignar secuencia y tiempo de ejecución, luego cada unidad construible del modelo debe tomar esta información e incorporarlo al modelo 4D, el cual permite una simulación del proceso constructivo y a su vez detalla la secuencia y duración de cada uno de los elementos que integran al puente.

D. *Análisis de Constructibilidad*

Para el análisis de constructibilidad, se requiere tener una visualización del entorno y la estructura del puente en conjunto. Para este fin se plantea el Modelo 3D Layout del proyecto, el cual es generado a partir de la unión de dos modelos anteriores, el Modelo 3D de Estudios Básicos y el Modelo 3D de Pre-construcción. Este modelo permite analizar la constructibilidad de la estructura frente a las condiciones del entorno para realizar una evaluación de los procesos constructivos de todos los elementos que conforman la estructura del puente. Algunas de las evaluaciones que se pueden realizar comprenden desde la ubicación de elementos del proyecto como materiales, maquinaria, campamento hasta la posibilidad de verificar si los elementos diseñados son realmente necesarios.

3.2. APLICACIÓN DEL MODELO EN LA ETAPA DE EJECUCIÓN

Para la etapa de ejecución el modelo de implementación propuesto establece realizar un Modelo 3D de Construcción a partir del Modelo 3D de Pre construcción. Este modelo tiene las dimensiones finales de las unidades constructivas tal como se ejecutará en obra determinado por la empresa constructora. Así mismo, con la programación de la etapa anterior y tomando en cuenta las condiciones de obra, disposición de materiales, cuadrillas entre otros factores se podrá ajustar la secuencia y tiempo de ejecución de las

unidades construibles dando como resultado la programación final.

A. Valorización

Para el manejo de las valorizaciones mensuales se emplea el Modelo 3D de Construcción, en el cual se realiza la cuantificación automática de los principales materiales utilizados (concreto, acero y encofrado) por fases, es decir, asignándole a cada elemento una fase o periodo de ejecución. De esta manera es posible determinar la cantidad de material a utilizar para cada mes o semana. Además, gracias a la visualización 3D, se puede observar los elementos construidos hasta el momento, así como los elementos por construir en la semana o mes en el que se está trabajando y el resto de elementos faltantes. Las fases serán ejecutadas tomando como base el cronograma de obra. La obtención de los metrados se realiza haciendo un filtro de la fase en la que se encuentran los elementos ya construidos.

B. Gestión de las RFI's

El plan propone la implementación de la plataforma BIMCollab para la gestión de las RFI's (Request for Information) para todas las consultas generadas al supervisor, así como al proyectista. Esta plataforma permite tener una mayor claridad sobre el tema de consultas, gracias a que se encuentra en línea y a la incorporación de capturas del modelo 3D y/o fotografías de obra. También permite una mejor trazabilidad de la información gracias a que se registran responsables y fechas de solicitud.

C. Modelo 3D AsBuilt

Al finalizar el proyecto las unidades construibles del Modelo de Construcción son unificadas para formar los elementos estructurales y de esta manera obtener el Modelo 3D AsBuilt (Conforme a obra). En este modelo se representan todos los elementos con sus respectivas características y variaciones que se hayan generado a lo largo del proyecto. Por lo tanto, el modelo y toda la información adjuntada es importante y necesaria para realizar una mejor gestión en la etapa de operación y mantenimiento del puente.

IV. VALIDACIÓN

Para llevar a cabo la validación del modelo de implementación BRIM propuesto se ha elegido el puente Yunculmas ubicado en la selva del Perú. Se analizó la información del expediente técnico, los apuntes del cuaderno de obras en la etapa de ejecución, los presupuestos iniciales y finales; así como los plazos contractuales y reales con los cuales se culminó la obra. Se inició con el modelado tridimensional de los estudios básicos en base a la información del expediente técnico obteniendo el Modelo 3D de Estudios Básicos que comprende la información topográfica, hidráulica, geotécnica y vial tal como se muestra en las Figuras 2 y 3. Este modelo 3D se realizó con el software Civil 3D y sus extensiones: Geotechnical Module, para la representación de las perforaciones y estratigrafía; Smart Draft, para la representación del flujo del río a partir de los

resultados obtenidos en el análisis hidráulico con el software HEC-RAS.

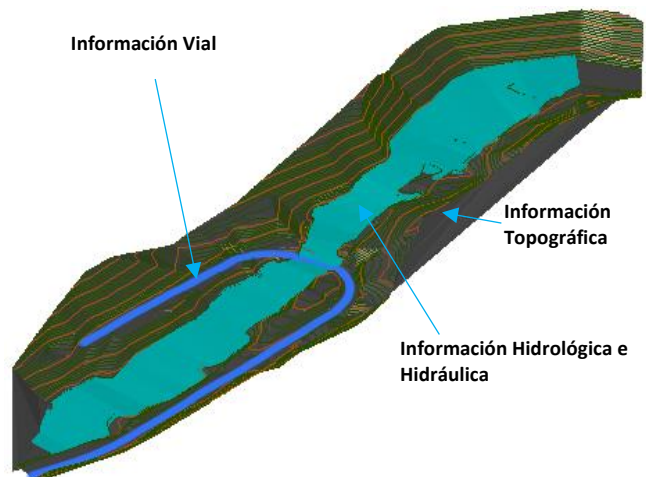


Fig. 2 Modelo 3D de los componentes de los estudios básicos

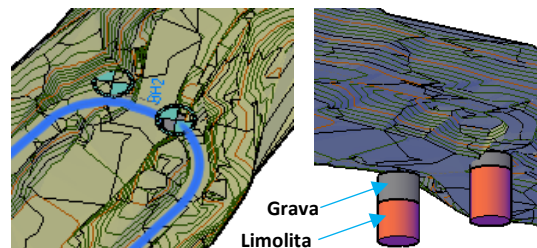


Fig. 3 Ubicación y detalle del sondaje para información geotécnica

Seguidamente se continuó con el modelado en 3D de todos los componentes de la estructura del puente (Estribos, vigas, losa, muros) y su respectiva armadura de acero acorde a los planos del expediente técnico tal como se muestra en la Figura 4. Este modelo se construyó enteramente con el software Revit.

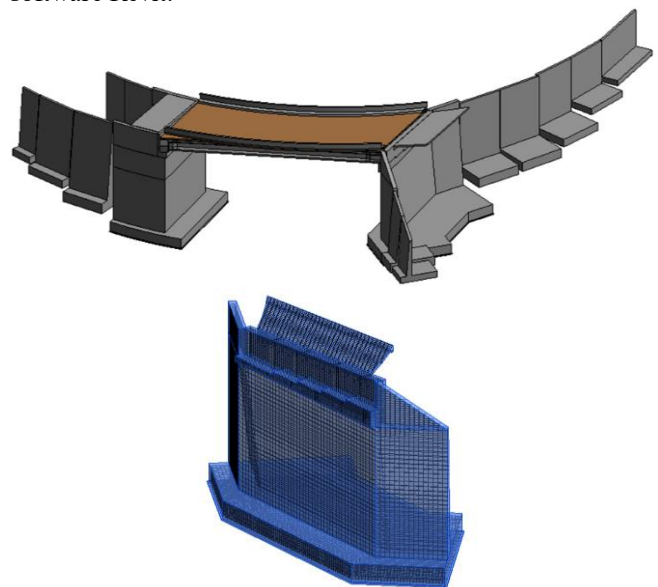


Fig 4: Modelo 3D Estructural y detalle de acero del estribo derecho

En el proceso de modelado de los componentes mencionados anteriormente se desarrolló el primer uso: Identificación de Inconsistencias con el cual se tuvo los siguientes resultados de la Tabla 01.

TABLA 1. Resultados de Identificación de Inconsistencias

Tipo	Descripción	Impacto
Inconsistencias	-Diferente ubicación de un estribo en los planos. -Diferentes anchos de viga en los planos estructurales -Alturas variables de las vigas con diferencias milimétricas	Alto
Falta de detalle	-No existe plano de corte de las alas de los estribos -No existe detalle de acero para el parapeto del estribo izquierdo - Falta de detalle de la disposición de acero en las uniones entre pantalla y alas del estribo. - Falta de detalle de la disposición de acero en cada una de las gradas de la viga cabezal. - Falta de detalle de acero, encofrado y concreto de los diafragmas internos del puente	Alto

Una vez solucionado las inconsistencias se construyó el Modelo 3D de Pre-construcción el cual consistió en dividir a los elementos del Modelo 3D Estructural en unidades construibles. Estas unidades son los elementos que tendrán el ciclo de habilitación y armado de acero, encofrado y vaciado de concreto (Ver Figura 5). Este modelo se realizó con el software Revit.

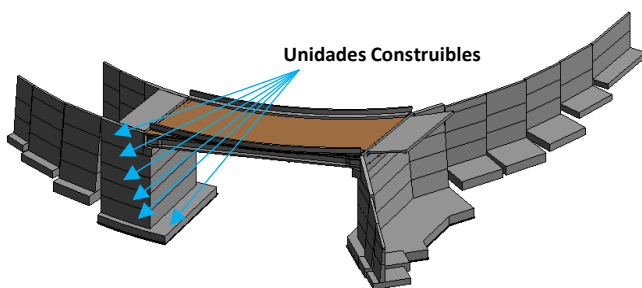
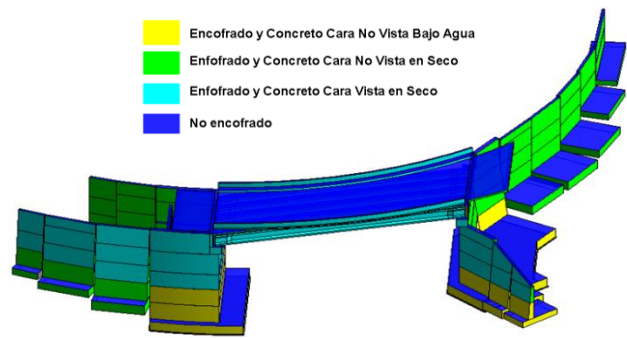


Fig. 5 Modelo 3D de Pre-construcción

Seguidamente se desarrolló el uso: Cuantificación de Materiales, para ello se empleó los Modelos 3D de Estructuras y Pre-Construcción de los cuales se obtuvieron los siguientes metrados: Kg de acero, M3 de cada tipo de concreto y M2 de cada tipo de encofrado. Como muestra se presenta la obtención de los metrados del encofrado (Ver Figura 7). Este uso BrIM se desarrolló con el software Revit.



<03 Metrado de Encofrado>	
A	B
Material: Nombre	Material: Área
Encofrado cara no vista bajo agua	553 m ²
Encofrado cara no vista en seco	1380 m ²
Encofrado cara vista en seco	1771 m ²
Total general: 124	3704 m ²

Fig. 7 Cuantificación del Materiales Encofrado

Luego se realizó la unión entre el Modelo 3D de Estudios Básicos y el Modelo 3D de Pre-construcción dando origen al Modelo 3D Layout para poder desarrollar el uso: Análisis de Constructibilidad que permitió determinar los siguientes errores de diseño. Los muros de acceso del estribo derecho no eran necesarios por encontrarse emplazados en un corte cerrado dentro del terreno natural en ambos lados del estribo y por lo tanto no realizarían trabajo de contención como se muestra en la Figura 8. Este modelo se construyó con el software Infracore a partir de los modelos 3D de Estudios Básicos y Pre-construcción previamente construidos en Civil 3D y Revit respectivamente.

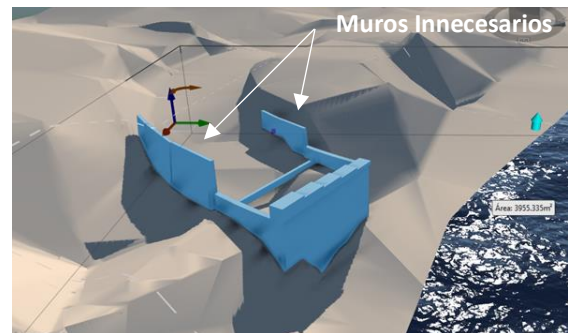


Fig 8: Evaluación de necesidad de construcción de muros en el estribo izquierdo

Esta observación, sin el uso de BrIM, se evidenció recién en el campo procediendo a realizar la cancelación de la construcción de estos elementos. Así mismo, se pudo evaluar que el proceso constructivo de la super estructura, definido en el expediente técnico como izaje de vigas prefabricadas, no era técnicamente posible debido a la topografía agreste de la zona, la cual presenta desniveles que impiden el izaje con equipo pesado como se muestra en la Figura 9.

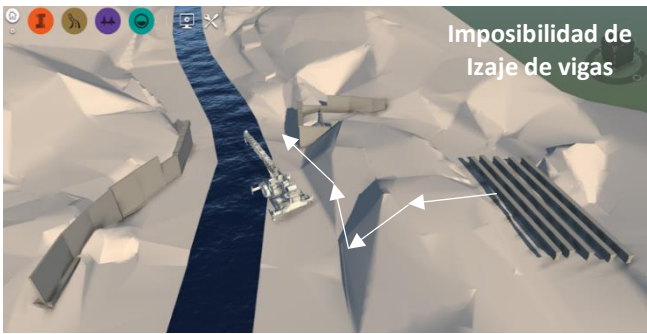


Fig 9: Evaluación de izaje de vigas

Con la evaluación de constructibilidad realizada a partir del modelo Layout se podría haber determinado con anticipación el cambio del proceso constructivo de izaje a vaciado in situ, opción que se ejecutó en obra.

Esta integración de los modelos también se realizó en el software Revit para poder representar a detalle los niveles de la estructura del puente con las características hidráulicas del río como el NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) y la profundidad de socavación, información relevante de verificar en el modelo para asegurar las profundidades correctas de cimentación de la estructura (Ver Figura 10 y 11)

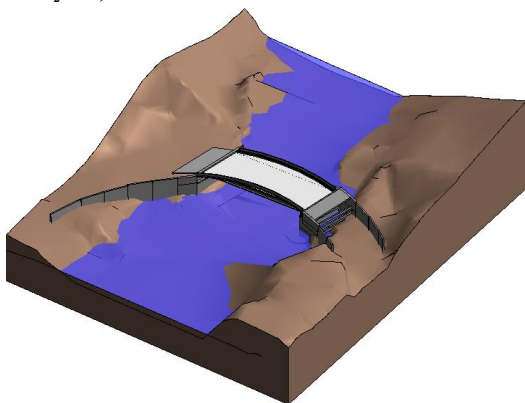


Fig 10: Integración de modelos en el software Revit

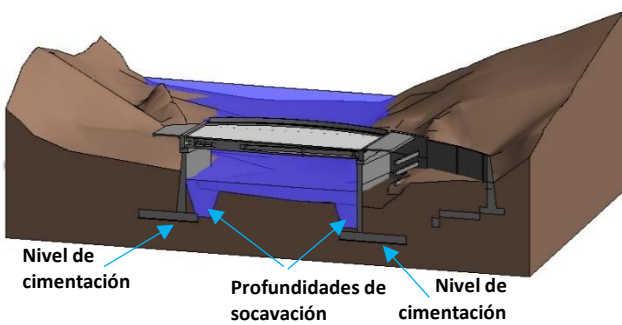
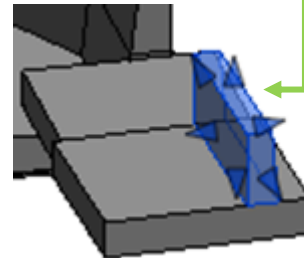


Fig 11: Verificación de Niveles de agua y socavación

Seguidamente, se procedió con la planificación de la construcción a un nivel más detallado que la forma tradicional programando fechas y tiempo a las unidades construibles como se muestra en la Figura 12.

Nombre de tarea	Duración	02	09	16	23	30	06	13
DESVO DE RIO	85 d							
ACCESO A CANTERAS, FUENTES DE AGUA Y DME	1 d							
MANUTENIMIENTO DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL	205 d							
ESTRIBOS	84 d							
EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS EN SECO	1 d							
EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS BAJO AGUA	4 d							
CONCRETO $f_c=100 \text{ Kg/cm}^2$ BAJO AGUA	5 d							
ACERO DE REFUERZO $F_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$	50 d							
ENCOFRADO CARA NO VISTA BAJO AGUA	14 d							
ENCOFRADO CARA NO VISTA EN SECO	8 d							
ENCOFRADO CARA VISTA EN SECO	9 d							
CONCRETO $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ BAJO AGUA	30 d							
CONCRETO $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ EN SECO	9 d							
RELLENO PARA ESTRUCTURAS CON MATERIAL PROPIO	3 d							
RELLENO DE ESTRUCTURAS CON MATERIAL DE PRESTAMO	14 d							
TRANSPORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	5 d							
VIGAS DE CONCRETO PREFORZADO	66 d							
HABILITACION DE TERRENO PARA FABRICACION	3 d							

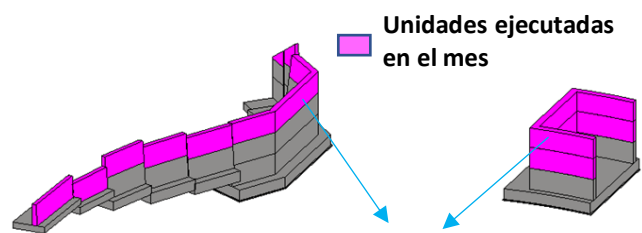


Vinculación entre cronograma y unidad construible del modelo 3D

Fig.12 Asignación de actividad del cronograma a la unidad construible

Como resultado se obtuvo un cronograma más certero que incrementó el plazo debido al cambio de sistema constructivo de las vigas y esto se verifica con las ampliaciones de plazo ejecutadas en obra. Finalmente, en esta etapa se elaboró una simulación 4D de todo el proceso de construcción del puente que permite un entendimiento más claro y detallado del proceso. La simulación se realizó con el software Navisworks a partir de la vinculación del cronograma desarrollado en el software MS Project.

Ya en la etapa de ejecución, se simuló como sería una valorización mensual de la obra a través del Modelo 3D de Construcción. Para este fin se marcaron las unidades construibles que se han ejecutado a la fecha de la valorización y en base a ello se obtuvieron metrados exactos del trabajo realizado en obra como se muestra en la Figura 13. Esta cuantificación de elementos construidos se realizó en el software Revit.



<003 Valorización Encofrado>						
A	B	C	D	E	F	G
Fase d	Tipo	Elemento	Materia: Nombre	Materia: Área	Materia:	Total
Mes 4	Estribo Derecho	Estribo Derecho Pantalla 3	Encofrado cara no vista en seco	56.93 m²	57.43	3269.37
Mes 4	Estribo Derecho	Estribo Derecho Pantalla 3	Encofrado cara vista en seco	55.23 m²	80.11	4424.10
Mes 4	Estribo Izquierdo	Estribo Izquierdo Pantalla 2	Encofrado cara no vista bajo agua	124.21 m²	101.66	12627.01
Mes 4	Estribo Izquierdo	Estribo Izquierdo Pantalla 3	Encofrado cara no vista en seco	55.26 m²	57.43	3189.96
Mes 4	Estribo Izquierdo	Estribo Izquierdo Pantalla 3	Encofrado cara vista en seco	58.66 m²	80.11	4699.31
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 9.5m Pantalla 2	Encofrado cara no vista en seco	17.74 m²	57.43	1018.96
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 9.5m Pantalla 2	Encofrado cara vista en seco	14.45 m²	80.11	1157.68
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 9.0m Pantalla 2	Encofrado cara no vista en seco	17.65 m²	57.43	1013.59
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 9.0m Pantalla 2	Encofrado cara vista en seco	14.46 m²	80.11	1158.22
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 8.0m Pantalla 2	Encofrado cara no vista en seco	17.12 m²	57.43	983.33
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 8.0m Pantalla 2	Encofrado cara vista en seco	14.44 m²	80.11	1157.14
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 6.5m Pantalla 1	Encofrado cara no vista en seco	39.18 m²	57.43	2250.15
Mes 4	Muro de Contención	Muro 04 6.5m Pantalla 1	Encofrado cara no vista en seco	45.76 m²	57.43	2626.12
Mes 4	Muro de Contención	Muro 03 9.2m Pantalla 2	Encofrado cara no vista en seco	10.32 m²	57.43	592.66
Mes 4	Muro de Contención	Muro 03 9.2m Pantalla 2	Encofrado cara vista en seco	7.24 m²	80.11	579.68
Mes 4	Muro de Contención	Muro 03 9.2m Pantalla 3	Encofrado cara no vista en seco	8.70 m²	57.43	499.65
Mes 4	Muro de Contención	Muro 03 9.2m Pantalla 3	Encofrado cara vista en seco	6.76 m²	80.11	543.46
Mes 4	Muro de Contención	Muro 03 7.3m Pantalla 3	Encofrado cara no vista en seco	4.11 m²	57.43	236.02
Mes 4	Muro de Contención	Muro 03 7.3m Pantalla 3	Encofrado cara vista en seco	3.31 m²	80.11	265.11
Total general: 19						42273.53

Fig. 13 Cuantificación de elementos en base a las unidades construibles ejecutadas en el mes de valorización.

En cuanto a la gestión de las RFI's, se hizo una simulación de consultas realizada a través de la plataforma BIMCollab que permite registrar vía internet un RFI enfocando la parte o zona del modelo 3D del puente en consulta y agregar información textual sobre el mismo. El tiempo de respuesta se reduciría exponencialmente debido al uso de internet que permitirá un recibo de información prácticamente instantánea.

Finalmente, en la etapa de liquidación y entrega de obra se termina con el Modelo 3D AsBuilt del puente que representa al puente tal como está emplazado en sitio para trasladar esta información a los responsables de la operación y mantenimiento tal como se muestra en la Figura 14.



Fig. 14: Modelo 3D AsBuilt del proyecto final

V. RESULTADOS

En la aplicación del caso de estudio se obtuvo los siguientes resultados. Por un lado, la cuantificación de metrados con BrIM aplicados al proyecto Puente Yunculmas mostró una diferencia de 15% para el acero y una diferencia del 1% y 10% para el concreto y encofrado en comparación con el método tradicional. Por otro lado, el análisis de constructibilidad con BrIM aplicado al proyecto determinó un cambio de sistema constructivo de las vigas con una reducción de costo en 36% de la partida y la no ejecución de los muros del estribo derecho que redujo el costo directo total en 8%. La aplicación del plan propuesto en total determinó que el costo final del proyecto debió ser un 11.3 % menos. Así mismo, el tiempo planeado para la ejecución del proyecto pudo haberse disminuido en 23 días por los muros que no eran necesarios y en 15 días debido al cambio de sistema de constructivo de las vigas.

VI. CONCLUSIONES

El modelo de implementación de la metodología BrIM propuesto comprende la construcción virtual en seis modelos tridimensionales de información en las que se desarrollan siete usos en la etapa de Expediente Técnico y 3 usos en la etapa de Ejecución enfocados en la reducción de costos y tiempo en los proyectos de puentes de concreto armado sobre ríos.

Con la aplicación del modelo se pudo haber obtenido una reducción del costo hasta en un 11.3% gracias a la construcción virtual de los componentes del proyecto previo a la construcción real. Así mismo, el cronograma de obra se pudo haber reducido en 19% que representa 38 días.

El desarrollo de los usos planteados permite una optimización del Expediente Técnico a través del cálculo de metrados automatizados, identificación de inconsistencias, compatibilización de planos, análisis de constructibilidad y una planificación más detallada. Por otro lado, en la etapa de Ejecución permite reducir los tiempos y costos gracias a la resolución anticipada de posibles errores y un ajuste a la planificación tomando en cuenta las condiciones de la obra. Así mismo, permite mayor exactitud y rapidez en las valorizaciones periódicas, eficiencia en la solución de RFI's que trae como consecuencia mayor transparencia para la resolución de controversias.

El modelo de implementación que la presente investigación propone es lograr la elaboración de un expediente técnico más completo, con menos errores y en consecuencia evitar y/o disminuir adicionales o ampliaciones de plazo que afecten al desarrollo de las obras de infraestructura de puentes sobre río.

Finalmente, durante el desarrollo del presente artículo, se generaron líneas de investigación que permitirían completar el ciclo de vida de un proyecto de puente haciendo uso de la metodología BrIM, Una de estas es la implementación en el proceso de selección de la propuesta técnica, en la que se utilizarían herramientas de software con modelos preconstruidos para la evaluación de alternativas de la estructura del puente, así como su costo beneficio. Por otro lado, hacer un estudio enfocado en la Operación y Mantenimiento con un modelo 3D provisto de toda la información del proyecto permitiría una mejor y oportuna gestión del activo. También, la incorporación de la fotogrametría con el uso de drones generará una representación más realista y exacta de la topografía y de las características hidráulicas del río en los modelos 3D.

REFERENCIAS

- [1] CS Shim, NR Yun, HH Song, Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridges. The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Procedia Engineering 14, 2011, pp. 95-99
- [2] Juan Sebastián Gaitán Cardona, Adriana Gómez Cabrera, Uso De La Metodología Brim (Bridge Information Modeling) Como Herramienta Para La Planificación De La Construcción De Un Puente De Concreto En Colombia, 2014.
- [3] Yang Zou, Shuixing Zhou, A Model-based BIM Framework for Bridge Engineering. Applied Mechanics and Materials Vols. 587-589, 2014, pp 1339-1343
- [4] Mohamed Marzouk, Mohamed Hisham, Sabri Ismail, Mohamed Youssef, Omar Seif, On the use of Building Information Modeling in Infrastructure Bridges. Cib W078 27th International Conference: Applications In It In The AEC Industry, 2010.
- [5] Mohamed M. Marzouk, Mohamed Hisham, Khalid Al-Gahtani, Applications of bridge information modeling in bridges life cycle. Smart Structures and Systems, Vol. 13, No. 3, 2014, 40c7-418.
- [6] AFIN, Plan Nacional de Infraestructura 2016 – 2025, 2015.

- [7] Alberto Bernal Marcos (Octubre del 2017). Programa Nacional de Puentes, 3° EXPOCONVIAL PERÚ 2017. Congreso llevado a cabo en Lima, Perú.
- [8] Provias Nacional, Programa Nacional de Puentes 2012-2020, 2012.
- [9] Presidencia del Consejo de Ministros, Reconstrucción con cambios: Respuesta, Rehabilitación y Reconstrucción, 2017.
- [10]Autodesk, BIM en la construcción del puente Fanli, 2017.
- [11]Introducción a la tecnología BIM, Universidad Politécnica de Cataluña – UPC Commons - Global access to UPC knowledge, 2008.
- [12]Hogan, S, Extracting HEC-RAS Cross Sections from MicroStation / Geopak v8i, Lakewood, CO: Federal Highway Administration, 2013.
- [13]Soka, T., Moving Towards Civil Integrated Management (CIM) - The Future of 3D Bridge Design at NYSDOT. Albany, NY: New York State Department of Transportation, 2015