"METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE METRADOS DE LAS PARTIDAS DE ESTRUCTURAS UTILIZANDO MODELOS BIM OPORTUNIDAD DE MEJORA"

Diego Fuentes Hurtado [(1)], Vladimir Alcántara Rojas [(2)]

Sinopsis: La estimación de las cantidades de materiales o de metrado es un procedimiento muy requerido a lo largo de las distintas fases durante el desarrollo de un proyecto de construcción. La primera estimación se realiza al momento de elaborar la propuesta al cliente, posteriormente, durante la ejecución de la obra, se recalculan los metrados para realizar la compra de materiales, programar la secuencia constructiva y para controlar el avance de la obra, convirtiéndose en una tarea imprescindible pero redundante si consideramos que en ocasiones metramos lo mismo más de una vez. La teoría original del BIM nos sugiere que podemos obtener los metrados directamente de un modelo BIM, sin embargo, en la práctica se presentan algunas limitaciones por la necesidad de acondicionar las herramientas tecnológicas a las exigencias locales. En este paper se presentará la metodología desarrollada dentro del área Soporte BIM-GyM para obtener los metrados de las partidas de estructuras directamente de un modelo BIM dando a conocer las ventajas, desventajas y limitaciones en comparación a las técnicas tradicionales buscando así la confiabilidad de las estimaciones y la eficiencia de modelado.

Palabras Clave: Building Information Modeling (BIM), Metrados, Presupuesto, Partidas de estructuras

OBJETIVOS

1. Desarrollar una metodología para obtener metrados de las partidas de estructuras utilizando modelos BIM.
2. Analizar la confiabilidad de los metrados obtenidos de las partidas de estructuras mediante el uso de modelos BIM respecto a las técnicas tradicionales.
3. Analizar el alcance y el tiempo de obtención de los metrados de las partidas de Estructuras utilizando un modelo BIM y mediante la técnica tradicional.

INTRODUCCIÓN

La estimación de la cantidad de materiales es una tarea indispensable para poder realizar el presupuesto de los trabajos previstos para el proyecto a lo largo del tiempo o para estimar la cantidad de materiales e insumos a utilizar para ejecutar cierta actividad. La primera estimación se realiza al momento de elaborar la propuesta al cliente que servirá como base del presupuesto, posteriormente, durante la ejecución de la obra, se recalculan los metrados para realizar la compra de materiales, programar la secuencia constructiva y para controlar el avance de la obra (Ver Figura 01)

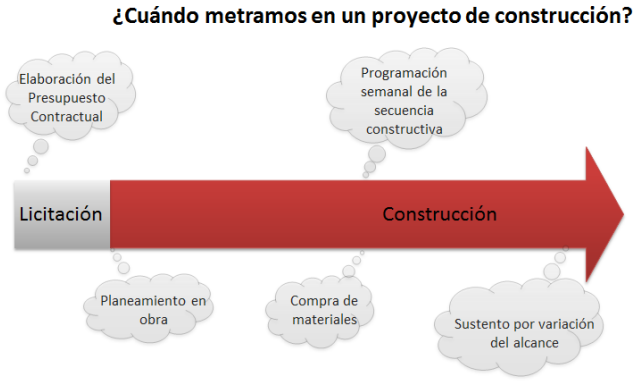


Figura 01. *Cuantificación de metrados a los largo del proyecto.*

Para cada actividad o partida hay un método estándar de cuantificar la cantidad de materiales. Por ejemplo, el concreto se mide en metros cúbicos (m^3), el encofrado se mide en metros cuadrados (m^2), los frisos se miden en metros lineales, y el acero se calcula en kilogramos (kg), etc.

Un presupuesto está compuesto por una serie de partidas ordenadas en Disciplinas (Estructuras, Arquitectura, Instalaciones, Otros), en cada una de ellas se deben obtener los metrados correspondientes para poder obtener después los costos que demandará la ejecución de dichas actividades.

En este paper exploraremos las partidas de la disciplina de Estructuras de las cuales podremos obtener metrados utilizando Modelos BIM. Previamente se realizó un estudio en cuatro proyectos para determinar la cantidad de partidas

[1] Ingeniero Civil (diego.fuentes@gym.com.pe)
Soporte BIM – Gerencia Técnica GyM
[2] Ingeniero Civil (palcantara@gym.com.pe)
Soporte BIM – Gerencia Técnica GyM

más incidente agrupadas en las siguientes categorías: Concreto, Acero, Superficies (encofrado, curado y solados), Movimiento de tierras, y otras. (Ver Gráfico 01)

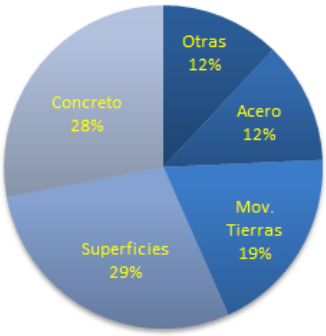
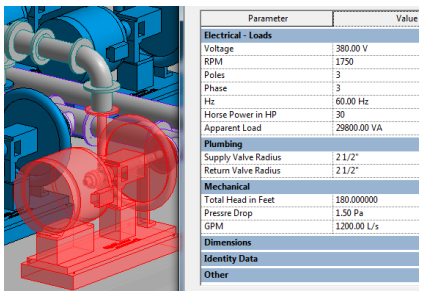


Grafico 01: *Distribución de las partidas de estructuras por partidas más incidentes.*

Modelado BIM de un proyecto

Un modelo BIM es una representación tridimensional y paramétrica de la información de un proyecto de construcción. El manejo de estos parámetros nos permite asociar cierta información a cada uno de los componentes 3D que al ser ensamblados van dando forma a la edificación.

Un modelo BIM constituye una base de datos con información que podemos extraer para distintos fines. Desde incluir información y características propias del diseño para realizar análisis y simulaciones hasta información que podamos utilizar en la etapa de construcción como la fecha en que será construida o montada cierto componente.



Parameter	Value
Electrical - Loads	
Voltage	380.00 V
RPM	1750
Poles	3
Phase	3
Hz	60.00 Hz
Horse Power in HP	30
Apparent Load	29800.00 VA
Plumbing	
Supply Valve Radius	2 1/2"
Return Valve Radius	2 1/2"
Mechanical	
Total Head in Feet	180.000000
Pressre Drop	1.50 Pa
GPM	1200.00 L/s
Dimensions	
Identity Data	
Other	

Figura 02: *Ejemplo de un componente de un modelo BIM y sus parámetros de diseño.*

Desde que se acuñó el término BIM, se pensó en tener toda la información de un proyecto en una sola base de datos o modelo. Sin embargo, en la práctica cada disciplina maneja su propio modelo BIM para que se cumplan con las obligaciones contractuales respecto al alcance del proyecto.

Estimación basada en modelos BIM

Los modelos BIM se pueden utilizar para generar cálculos de cantidades precisas y ayudar en la creación de estimaciones de costos durante todo el ciclo de vida de un proyecto. El uso de modelos BIM de esta manera permite que el equipo del proyecto pueda ver los impactos en costo debido a variaciones del diseño que implican cambios de metrados.

BIM en GyM

Hace más de un año que el área de Soporte BIM-GyM viene trabajando con algunos proyectos de edificaciones en la elaboración de modelos de las disciplinas de arquitectura, estructuras y de instalaciones.

El enfoque inicial consistió en generar modelos BIM para proyectos durante la etapa de construcción con el fin de compatibilizar y detectar interferencias entre las distintas disciplinas. Recientemente se trabajaron algunos proyectos desde la elaboración de la propuesta interactuando con el área de Presupuestos para mostrar las oportunidades del uso de modelos BIM en la obtención de los metrados de algunas de las partidas de la disciplina de estructuras, lo cual permitió definir algunos criterios a tomar en cuenta, limitaciones y algunos ratios acerca de cuánto tiempo demanda elaborar un modelo teniendo en cuenta el corto plazo del que se dispone para presentar la propuesta.

Entre las ventajas y desventajas de elaborar un modelo BIM desde la etapa de licitación tenemos:

Ventajas:

- El esfuerzo en elaborar un modelo de estructuras se ve compensado si analizamos que el mismo modelo, que inicialmente sólo lo utilizaremos para obtener metrados, más adelante puede ser utilizado para integrarse con los modelos de las demás disciplinas y realizar una compatibilización detallada y completa del proyecto.
- El modelo puede servir como base para facilitar las tareas de planeamiento y sectorización del proyecto una vez se inicie la etapa de construcción.
- Cualquier variación en el alcance del proyecto a lo largo de cualquiera de sus etapas de desarrollo puede ser actualizado y gestionado en el mismo

modelo para obtener directamente las cantidades de materiales.
- La presentación de un modelo BIM desde la oferta podría significar una ventaja competitiva si fuese un punto de valoración por parte del cliente.
- La elaboración del modelo BIM de estructuras permite compatibilizar el proyecto y a su vez tener más claro los alcances del proyecto y evitar aproximaciones que podrían resultar en un mayor o menor metrado del que realmente se requiere.

Desventajas

- En algunos casos, el plazo para presentar la propuesta es muy corto y será necesario invertir muchas horas-hombre para generar el modelo BIM oportunamente.

Procedimientos y Técnicas de Modelado

La cantidad de partidas de las que podemos obtener metrados con un modelo BIM dependen principalmente del nivel de desarrollo de programas su grado de flexibilidad que permitan mejorar y optimizar ciertos procesos para reducir los tiempos de modelado y ajustar el modelo a las condiciones reales de un proyecto de construcción. Dado que los programas más comerciales de la generación BIM provienen del exterior, es necesario acondicionar el programa a las exigencias locales como lo explicamos a continuación.

Partidas de concreto:

El modelado de la estructura de concreto utilizando los componentes originales de Revit Structure es suficiente para poder obtener el metrado de las partidas de concreto de los diversos elementos que lo conforman. Para una mejor clasificación de la información y para que el modelo pueda ser usado más adelante en obra es necesario modelar el proyecto respetando los procesos constructivos de vaciado y las distintas resistencias de los elementos de concreto. Consideraciones como sectorizar el modelo para simular los tiempos de vaciado en esta etapa no es necesaria ya que esto dependerá de la programación que se realice en obra, sin embargo, el modelo debe estar preparado para poder hacer esto más adelante.

Partidas de superficies:

En teoría, programas como Revit Structure calculan directamente las áreas de superficies de cualquier elemento sólido (como una columna o viga), si bien estos valores se pueden asumir como metrado de las partidas de encofrado, estos no se aproximan a la realidad ya que el programa no descuenta el área en las zonas de contacto con los demás elementos estructurales, que como proceso constructivo sabemos que no debería ser encofrado (ver Figura 3-a). Por tal motivo se desarrolló una metodología modificando los componentes originales del programa que representan a las vigas, columnas, losas, placas y cimentaciones añadiendo un sólido que represente el encofrado de cada elemento, además se estandarizaron procedimientos que permiten descontar automáticamente el área de encofrado en los encuentros con otros elementos, como se muestra en la Figura 3-b. Con las nuevas técnicas sólo se considera el encofrado de la viga hasta el fondo de la losa, debido a que por proceso constructivo la losa y las vigas se vacían al mismo tiempo.

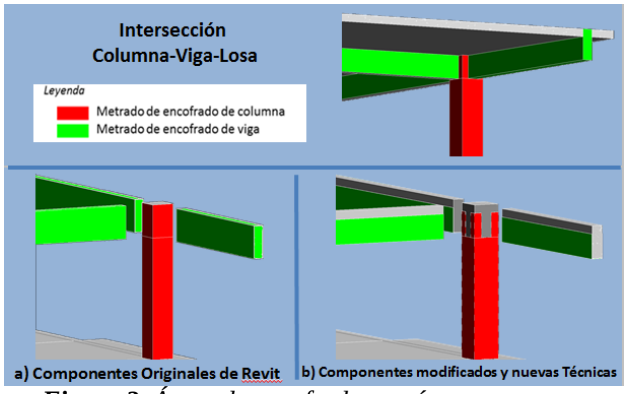


Figura 3. *Áreas de encofrados según componentes originales y nuevas técnicas desarrolladas.*

Partidas de acero de Refuerzo:

En los proyectos de demostración no pudimos elaborar los modelos de acero de refuerzo debido a ciertos aspectos que serían recomendables analizarlos para futuros proyectos.

- *El tiempo de modelado:* Basado en los registros de HH del Soporte BIM se ha encontrado que el tiempo empleado para modelar el acero es aproximadamente 1.6 veces el tiempo que demanda modelar la volumetría de concreto. Incluso en edificios con plantas típicas no es tan sencillo como parece por la cantidad de detalles de empalmes que se requiere incluir en el modelo.
- *El programa a utilizar:* Este debe permitir una eficiente gestión de cambios, es decir que ante cualquier variación producida en la volumetría

de concreto, el acero se adapte a esta nueva geometría para evitar re-trabajos por actualización del modelo. Además, en vista que los detalles de acero muchas veces son típicos y repetitivos, los programas deben disponer de herramientas que permitan automatizar los procesos de modelado.

- *Ingeniería de Valor:* Evaluar la necesidad de modelar el acero más allá de obtener los metrados.

Clasificación de partidas en un modelo BIM

Al finalizar la etapa de modelado, una tarea imprescindible es clasificar la información del modelo de estructuras para que los reportes de metrados reflejen lo que en realidad se necesita. Para ello, los elementos estructurales como vigas, losas, columnas, placas y cimentaciones disponen de parámetros para asociar manualmente la partida hacia donde se calculará el metrado de concreto, encofrado, solado, etc., según corresponda tal y como se aprecia en la Figura 4. La partida a ingresar en estos parámetros debe ser tomada del listado de partidas del presupuesto del proyecto.

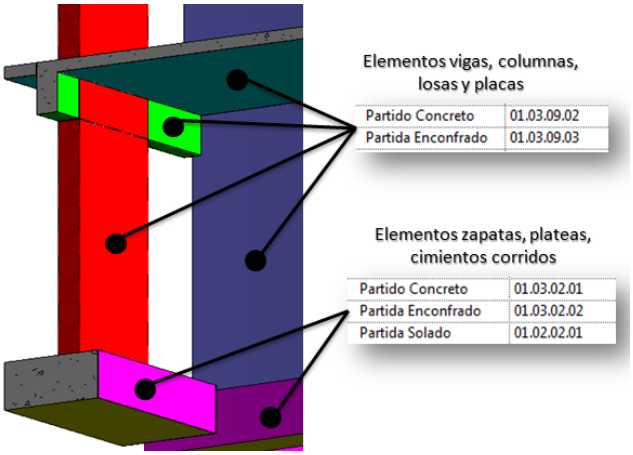
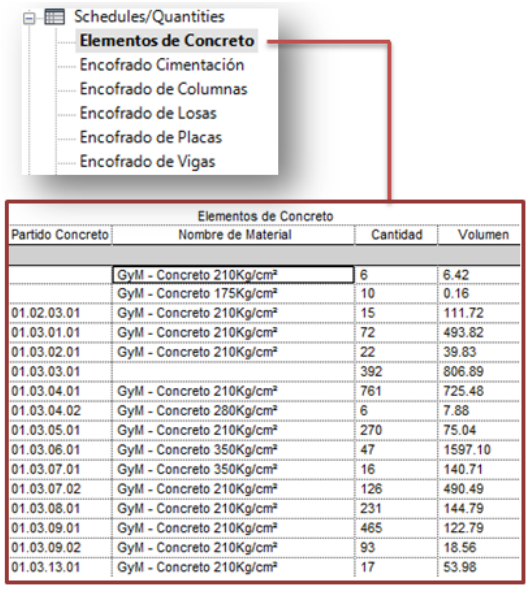


***Figura 4**. Elementos estructurales y sus respectivas partidas de metrados.*

Cuando se hayan asociado los parámetros de partidas a todos los elementos del modelo, por medio de agrupaciones y filtros se pueden obtener reportes que irán actualizándose automáticamente en función a los cambios que se realicen en el modelo. También es posible identificar qué elementos estructurales no están asociados a una partida específica o identificar aquellos que están direccionados a partidas equivocadas. Un típico listado de reportes separados por tipos de elementos y agrupados por el código de la partida se muestra en la Figura 5.



Elementos de Concreto

Partido Concreto	Nombre de Material	Cantidad	Volumen
	GyM - Concreto 210Kg/cm²	6	6.42
	GyM - Concreto 175Kg/cm²	10	0.16
01.02.03.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	15	111.72
01.03.01.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	72	493.82
01.03.02.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	22	39.83
01.03.03.01		392	806.89
01.03.04.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	761	725.48
01.03.04.02	GyM - Concreto 280Kg/cm²	6	7.88
01.03.05.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	270	75.04
01.03.06.01	GyM - Concreto 350Kg/cm²	47	1597.10
01.03.07.01	GyM - Concreto 350Kg/cm²	16	140.71
01.03.07.02	GyM - Concreto 210Kg/cm²	126	490.49
01.03.08.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	231	144.79
01.03.09.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	465	122.79
01.03.09.02	GyM - Concreto 210Kg/cm²	93	18.56
01.03.13.01	GyM - Concreto 210Kg/cm²	17	53.98

***Figura 5**. Lista de elementos y reporte de metrados clasificados por códigos de partidas.*

DESARROLLO

Confiabilidad de los Metrados

Se han desarrollado TRES modelos BIM de proyectos en concurso para el área de Presupuestos con la intención de obtener los metrados de concreto y superficies de las partidas de Estructuras (55% del total) y realizar un comparativo con los metrados obtenidos mediante el método tradicional. El análisis de las brechas de metrados permitirá validar el método como una herramienta confiable, identificar los errores cometidos por alguna de las dos partes y proponer estrategias de mejora.

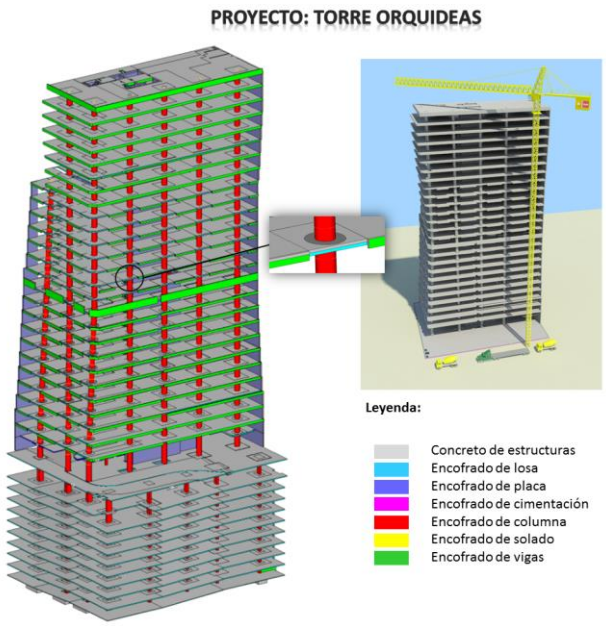
Tiempo de modelado vs Tiempo de metrado

En primer lugar un modelo BIM puede ser usado para muchas cosas, planeamiento, análisis de riesgo, compatibilización, diseño, simulación, etc. Sin embargo si nos enfocamos en sólo elaborar un modelo BIM para propósito de obtener cantidades de materiales, resulta necesario comparar en qué tiempo se elabora un modelo BIM respecto al tiempo que emplearíamos estimando los metrados usando procedimientos y herramientas tradicionales.

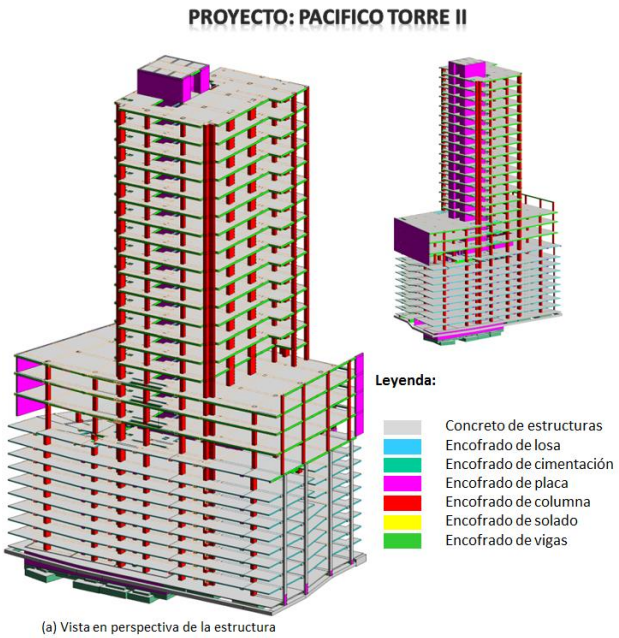
Proyectos Evaluados

Los tres proyectos de demostración que se trabajaron en conjunto con el área de Presupuestos son:

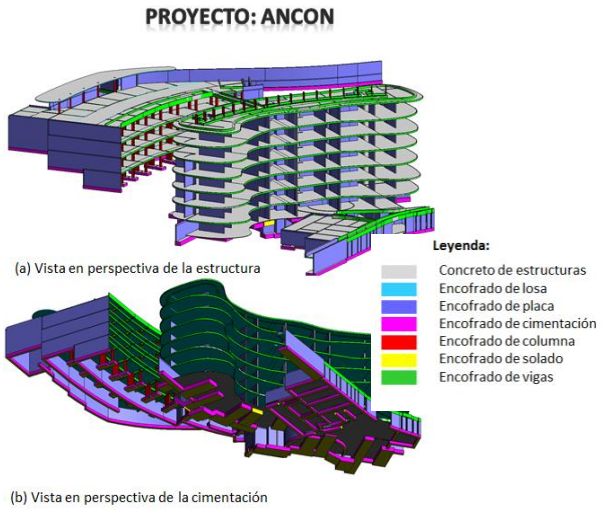
Proyecto: Torre Orquídeas
Área techada: 52,330.00 m^2
Características: Edificio de oficinas que cuenta con 27 pisos, 9 sótanos. Se presentaron plantas típicas en los sótanos 4 al 9 y en los pisos superiores 21 al 26. La configuración estructural es aporticada con disipadores sísmicos en las vigas del núcleo principal de la caja de ascensores y losas postensadas en todos los pisos, además de vigas y placas perimetrales. Las columnas tienen resistencias de 550 y 420kg/cm^2 y las losas de 280kg/cm^2, siendo 1.4 veces mayor, por lo que en el modelo se aplicó un sobreancho de 60cm a las columnas en los encuentros con las losas y capiteles (Exigencia ACI capítulo 12 E-060).



Proyecto: Pacífico Torre II
Área techada: 33,581.00 m^2
Características: Edificio de oficinas que cuenta con 9 sótanos y 18 pisos de torre. La configuración estructural es aporticada, con típicos elementos de vigas, columnas, placas y losas macizas. En este proyecto se presentaron plantas típicas en los sótanos con ciertas variantes y en la superestructura entre los pisos 5 al 18.



Proyecto: Ancón
Área techada:
Características: Edificio a media ladera ubicado frente al mar que consta de dos torres, una de departamentos de 7 niveles y otra de estacionamientos de 3 niveles. La configuración estructural del proyecto es mixta con una seria de vigas chatas y un conjunto de losas postensadas. Por las características arquitectónicas del edificio (como la fachada no alineada) y su ubicación no se tuvieron plantas típicas.



RESULTADOS

Confiabilidad de los Metrados

Teniendo los metrados del 55% de las partidas de Estructuras obtenido por ambas áreas se realizó el comparativo respectivo. Los resultados así como también el motivo de origen de las brechas se encuentran representados en la Tabla 01 del Anexo.

En la mayoría de los casos, las brechas identificadas representan entre un 0-4% del metrado obtenido con modelos BIM respecto del tradicional. Sin embargo hay partidas puntuales en las que se tienen porcentajes mayores a 5% y picos de hasta 78%, estas son debidas principalmente a la falta de coordinación entre las áreas. La distribución del porqué de las brechas obtenidas en cada proyecto se presenta en el siguiente gráfico.

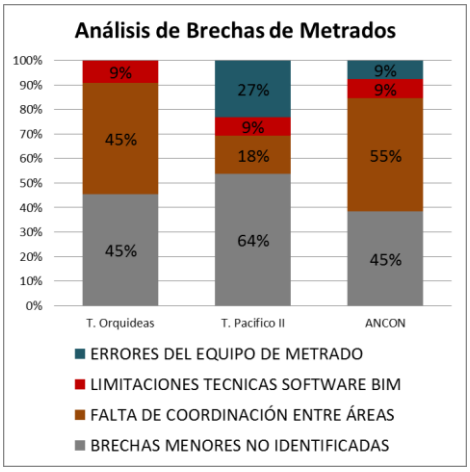


***Gráfico 02**. Elementos estructurales y sus respectivas partidas de metrados.*

En el primer y el tercer proyecto, las brechas significativas son debido a la falta de modelado de elementos de algunas partidas y está asociada a la poca coordinación y reuniones de comparación de metrados entre las áreas de Soporte BIM y Presupuestos.

Por otro lado, la cantidad de brechas no identificadas también son comunes en los tres proyectos, si bien estas oscilan entre 0 a 2%, un análisis más detallado permitirá afinarlas.

En el segundo proyecto, el modelo no solo tenía un margen de error pequeño (menor a 2.8%) sino que también pudo servir para corregir errores en algunos cálculos en las plantillas de metrado del área de presupuestos, y la clasificación de algunos elementos de altura Simple/Doble/Triple que podía distinguirse mejor en vistas en 3D del modelo (Ver Figura 6)

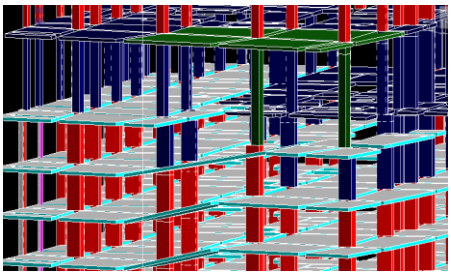


***Figura 6**. Clasificación visual de las Columnas Simple/Doble/Triple altura en modelo BIM*

Finalmente, hay un porcentaje que también indica que deben revisarse algunos procedimientos de modelado y acondicionar el software a exigencias locales.

Tiempo de modelado vs Tiempo de metrado

Los resultados producto de la comparación de ambas técnicas de metrado para el desarrollo de dos proyectos se muestran en el grafico 02. En general podríamos concluir que elaborar un modelo BIM para obtener metrados directamente consume una menor cantidad de horas que las requeridas para metrar manualmente. Sin embargo, las HH que se necesita para elaborar un modelo BIM de estructuras sólo es suficiente para obtener hasta el 55% de partidas del presupuesto de estructuras, ya que no se han considerado partidas de acero, movimiento de tierras y otras partidas de superficies que si bien algunas de ellas podrían ser incluidas en los modelos BIM, esto demandaría un mayor consumo de horas. Asimismo, respecto al proyecto Pacifico se indica que la barra indica el total de las HH invertidas considerando el metrado de todas las partidas de estructuras incluidas las de acero.

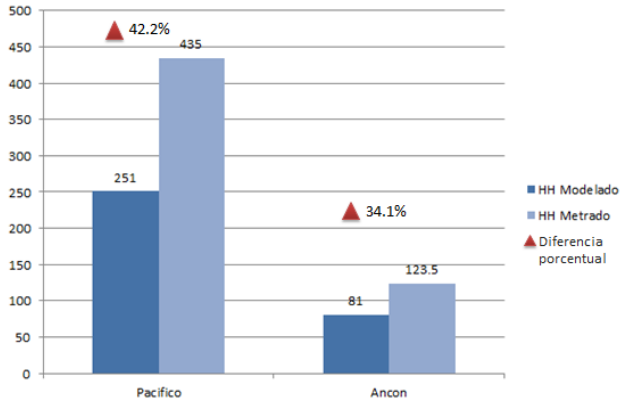


***Gráfico 02.** Comparación entre HH de modelado vs. HH de metrado.*

CONCLUSIONES

- Mediante el uso de modelos BIM de estructuras, en los tres proyectos desarrollados, se pudo abarcar hasta el 55% de las partidas del presupuesto (solo en la disciplina de estructuras).
- La diferencia entre el tiempo de modelado comparado con el tiempo de metrado para las partidas de concreto y encofrado, representa una oportunidad de enfocarnos en elaborar un modelo BIM. Posteriormente el modelo podría transferirse a obra para sacar provecho a otras aplicaciones.
- Los tiempos de modelado no dependen sólo del dominio y experiencia del modelador, sino también del grado de automatización, gestión de cambios y en general del nivel de desarrollo de los "programas BIM" como Revit Structure o Tekla Structures.
- No es posible abarcar el 100% de las partidas de estructuras de un presupuesto con sólo el uso de modelos BIM, al menos desde la etapa de concurso.
- Un factor clave del éxito es la coordinación y constante feedback entre las áreas para mejorar las técnicas y estandarizar los procedimientos.

RECOMENDACIONES

- En la etapa de presupuesto podemos abarcar los metrados de acero modelando elementos típicos y usando ratios proyectados, lo cual será motivo de otra investigación. Esto podría ser un procedimiento alternativo a modelar el acero por completo en donde se requiere invertir aproximadamente 1.6 veces el tiempo que demandaría modelar la estructura de concreto y encofrado.
- Se recomienda estandarizar los procesos de metrados de las partidas de estructuras usando las técnicas tradicionales.
- Al inicio y durante el proceso de modelado se requiere mucha coordinación con los distintos involucrados de elaborar la propuesta para incluir en el modelo las consideraciones asumidas no indicadas en los planos originales.

AGRADECIMIENTOS

Este paper no hubiese sido posible sin la colaboración y feedback del Área de Presupuestos y el área de Soporte BIM de GyM.

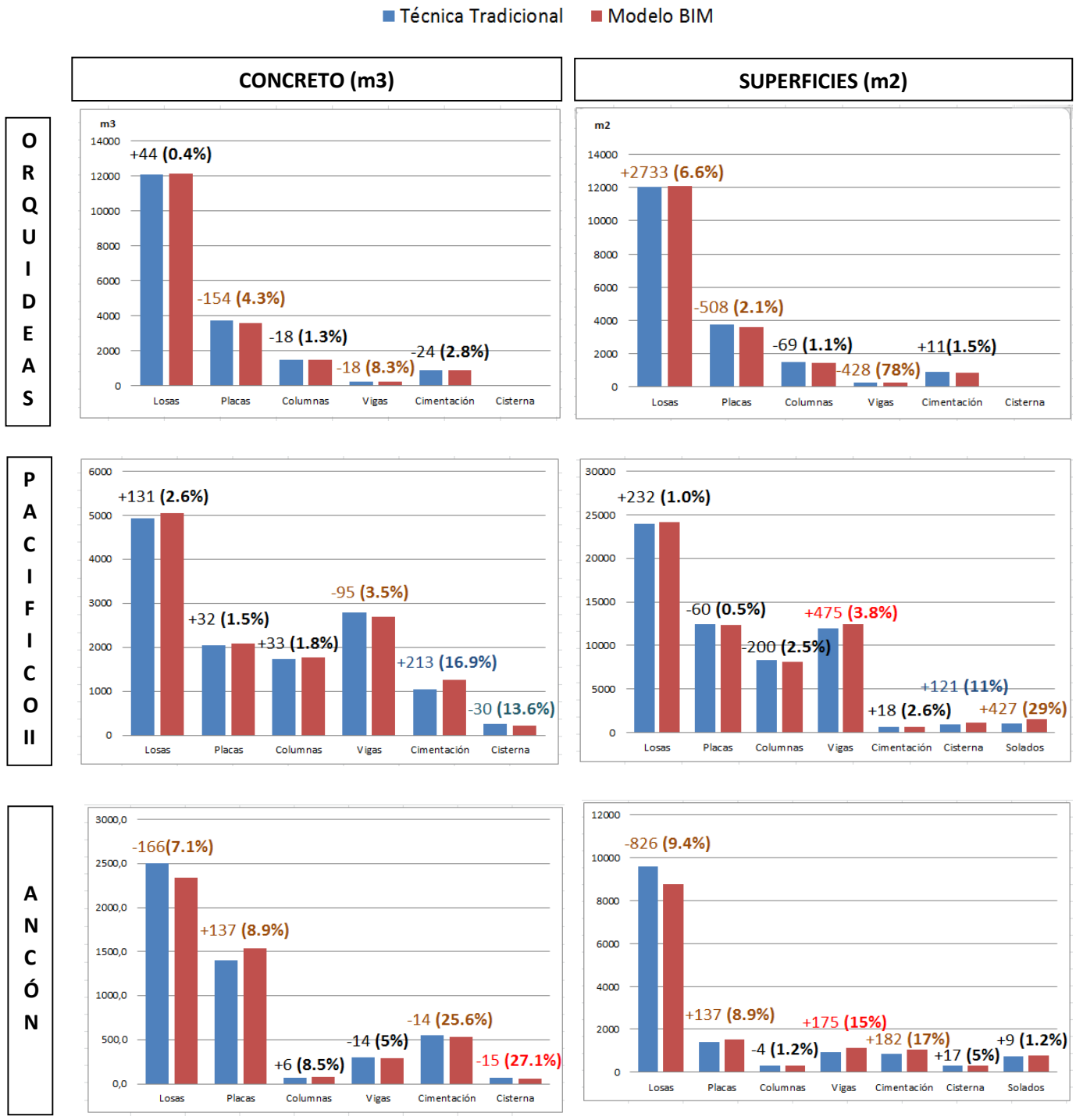
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eastman C et al., (2008), BIM Handbook, A guide to Building Information Modeling, John Wiley & Sons Inc., New Jersey

- Winch M G, (2010), Managing Construction Projects, Blackwell Publishing Ltd., West Sussex UK
- D. FUENTES, (2013), "*Estandarización como factor clave para potenciar el uso de tecnología BIM"*, Tesis de grado PUCP.
- V. ALCANTARA, D. FUENTES (2012), "*Clasificación en Impacto de las Deficiencias de Diseño en la Construcción de Proyectos de Edificaciones*", Presentado en el Concurso Corporativo de Papers Graña y Montero 2012.
- V. ALCÁNTARA (2013), *"Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basado en la construcción virtual usando tecnologías BIM"*, Tesis de grado FIC-UNI.

ANEXO

Tabla 1. *Comparativo de metrados técnica tradicional vs modelo BIM*



- **Brechas menores no identificadas (Pudiendo ser omisión de alguna de las dos partes)**
- **Brechas debido a modelamiento incompleto por falta de coordinación entre áreas**
- **Brechas debido a errores por parte del equipo de metrado**
- **Brechas debido a limitaciones técnicas del software BIM**